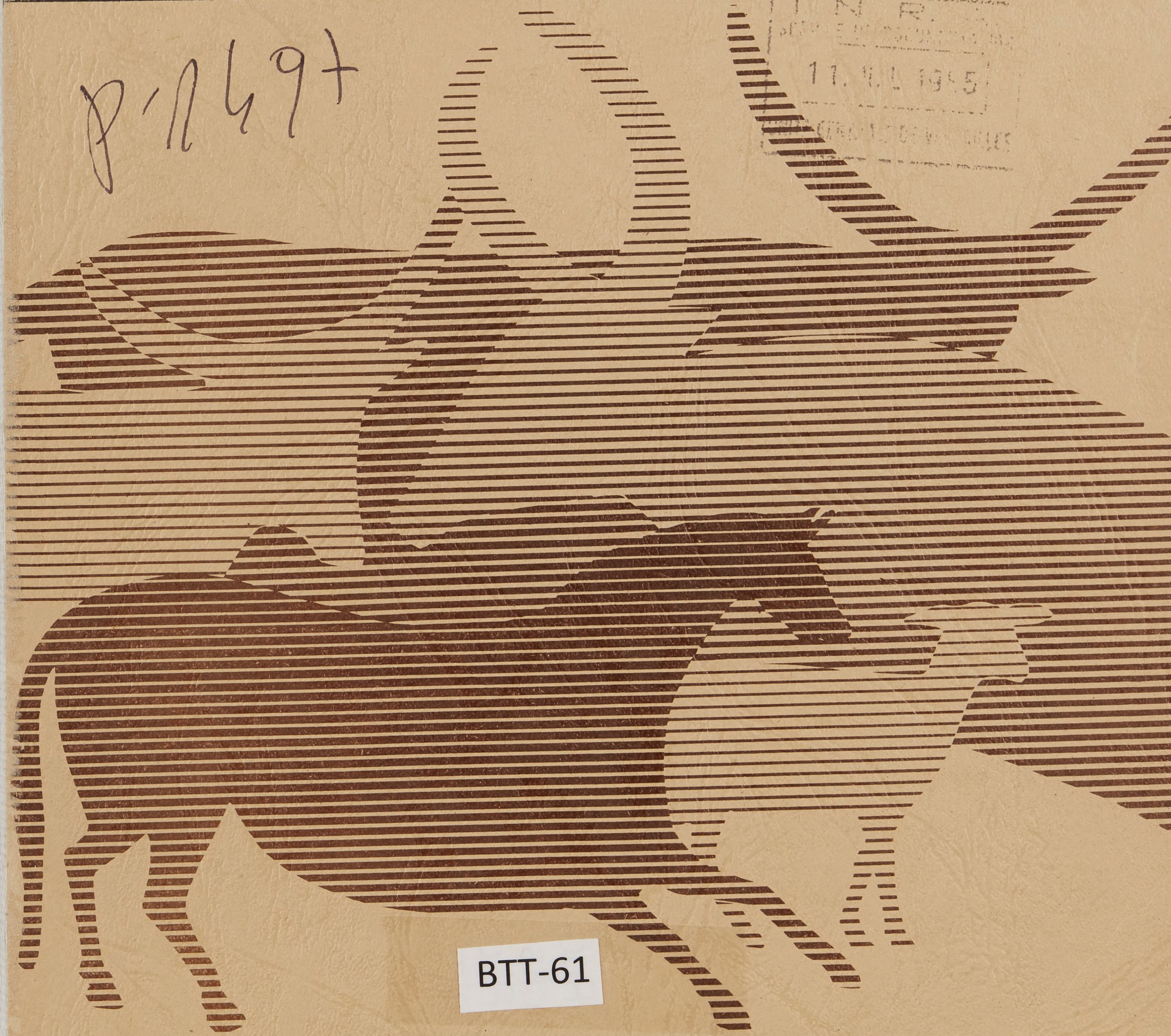
inra

CENTRE DE RECHERCHES ZOOTECHNIQUES
ET VETERINAIRES DE THEIX

P-2497

I. N. R.
11. JUIL. 1985



BTT-61

BULLETIN TECHNIQUE

N° 60 JUIN 1985

trimestriel

ISSN 0395-7519

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

CENTRE DE RECHERCHES ZOOTECHNIQUES ET VETERINAIRES DE THEIX

BULLETIN TECHNIQUE

N° 60 JUIN 1985

C.R.Z.V. de Theix - 63122 CEYRAT - Tel. (73) 92.42.63

Sommaire

Influence de la race et du niveau génétique de production laitière sur les performances des veaux de boucherie
E. DABURON, A. MULLER, M. DUPONT, R. TOULLEC et J.J. COLLEAU 5

Influence de l'alimentation sur la composition du lait. I. Taux butyreux : facteurs généraux
M. JOURNET et Y. CHILLIARD 13

Détermination rapide de la composition de la viande (eau, lipides, protéines) par spectrophotométrie dans le proche infrarouge
M. BONNET et J. KOPP 25

La production de viande chevaline en France. Systèmes d'élevage et de production
W. MARTIN-ROSSET, M. JUSSIAUX, Catherine TRILLAUD-GEYL, J. AGABRIEL 31

Le maïs brown midrib plante entière.
I. Caractéristiques générales
Y. BARRIERE, A. GALLAIS, L. HUGUET, R. TRAINEAU 44
II. Utilisation sous forme d'ensilage par les taurillons
C. MALTERRE, G. BERTIN, A. GALLAIS, L. HUGUET, D. MICOL avec la collaboration de D. LECONTE, A. MULLER, J.R. PECCATTE 44
III. Utilisation sous forme d'ensilage par les vaches laitières
A. HODEN, Y. BARRIERE, A. GALLAIS, L. HUGUET, M. JOURNET, A. MOURGUET 51

Enquête éco-pathologique continue : 4. Répartition temporelle des pathologies majeures en élevage bovin laitier
B. FAYE et J.C. FAYET 59

Revue des facteurs *ante et post mortem* influençant la flaveur de la viande et celle des produits carnés
C. TOURAILLE, J.P. GIRARD 83

Sommaire des Publications 99

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1985 (60) 5-11

Influence de la race et du niveau génétique de production laitière sur les performances des veaux de boucherie

E. DABURON*, A. MULLER*, M. DUPONT**, R. TOULLEC*** et J.J. COLLEAU**

** Domaine du Pin-au-Haras, 61310 Exmes*
*** Station de Génétique quantitative et appliquée, 78350 Jouy-en-Josas*
**** Laboratoire du jeune Ruminant, 35042 Rennes Cedex*

Introduction

L'évolution génétique de notre cheptel bovin vers une productivité laitière plus affirmée, par substitution de races, par croisement ou par sélection interne, est un fait bien connu où la conjoncture économique joue un grand rôle. Le croisement industriel n'est pas encore très développé en France, pour beaucoup de raisons. Cela conduit à s'intéresser de près à l'évolution des caractéristiques bouchères, suite à un changement de race ou à une sélection laitière poussée à l'intérieur d'une même race.

C'est essentiellement sur le taurillon que les travaux abondent, en France comme dans le monde. On s'intéresse alors surtout aux effets du croisement Holstein (exemple pour la France : CADOT, 1984) et un peu aux conséquences d'une sélection laitière (exemple : COLLEAU *et al.*, 1984). La vache de réforme est à l'inverse la « parente pauvre » dans ces deux domaines, pour des raisons évidentes (exemple : COLLEAU *et al.*, 1984). Le veau de boucherie se place dans une situation intermédiaire, au moins dans notre pays. Les effets du croisement Holstein sont bien connus (REGIS, 1978 ; CHAILLOU, 1985), cependant aucune comparaison ne porte sur la Holstein pure, alors que c'est le terme prévisible de l'évolution en race Pie-Noire. Par ailleurs, l'étude des relations génétiques avec la production laitière à l'intérieur d'une race commence tout juste à être abordée (COLLEAU, 1981 ; GAILLARD et LE MEZEC, 1984).

L'objet de cet article est de faire connaître les résultats obtenus sur des veaux de boucherie produits dans un troupeau expérimental de l'INRA. Ces résultats sont utiles pour 3 raisons :

- ils fournissent des références techniques pour le veau Holstein pur ;
- ils permettent de comparer ce veau à son homologue Normand, dans des conditions aussi rigoureuses que possible ;
- ils font, dans une certaine mesure, progresser les connaissances dans le domaine des liaisons génétiques avec la production laitière.

Conditions expérimentales

1. Origine des animaux

Les 170 veaux mâles de race pure, Holstein ou Normande, qui ont servi de base à cette étude proviennent du troupeau expérimental du Pin-au-Haras (Orne) qui dépend du Département de Génétique de l'INRA. L'engraissement a été effectué à cet endroit. L'abattage a eu lieu entre 1980 et 1983 à l'abattoir municipal d'Alençon.

Ce système d'engraissement des mâles fait suite au système taurillon qui prévalait depuis 1969. En fait, les derniers taurillons ont été abattus en 1981, les veaux de boucherie prenant progressivement le relai (voir les effectifs faibles de l'année 80 dans le tabl. 1). Les résultats des premiers veaux, abattus en 79, ne sont pas reportés ici, cette année ayant servi à tester le nouveau système.

TABLEAU I

Effectifs de veaux de boucherie selon le type génétique et l'année d'abattage

Type génétique / Année d'abattage	Holstein sélectionné HF^+	Holstein témoin HF^T	Normand sélectionné NO^+	Total
80	12	5	2	19
81	10	13	15	38
82	17	15	22	54
83	27	15	17	59
Total	66	48	56	170

Les années considérées correspondent aussi aux premières années de ce qui est appelé la « nouvelle expérimentation du Pin », d'interaction génotype x milieu. Les principes de cette expérimentation seront décrits dans cette même revue lors d'un prochain article (MULLER *et al.*, 1985).

Ce qu'il est nécessaire de retenir, pour le présent article, est que les animaux sont issus de 3 types génétiques :

- le lot Holstein sélectionné (HF^+) obtenu par utilisation systématique et renouvelée des tout meilleurs taureaux pour l'index *Matière Utile** (index supérieur à + 60 kg MU, index exprimé en *base mobile**) ;

- le lot Holstein témoin (HF^T), obtenu par l'utilisation de 6 taureaux bien précis, dont l'index moyen était de l'ordre de + 32 kg MU au moment de leur choix en 1979 et dont l'index exprimé par rapport à la base mobile actuelle (1985) n'est plus que de + 16 kg MU, par suite du progrès génétique en race Frisonne ;

- le lot Normand sélectionné (NO^+) obtenu par utilisation systématique des tout meilleurs taureaux pour l'index Matière Utile (index supérieur à + 40 kg MU, exprimé en base mobile). Ce dernier lot est tout simplement la continuation de la lignée montante de l'ancienne expérimentation de sélection divergente en race Normande, maintes fois décrite (COLLEAU *et al.*, 1983 ; COLLEAU *et al.*, 1984).

D'une manière générale, cette structure expérimentale vise à faciliter l'étude des effets des hauts niveaux génétiques laitiers. Ceci est valable pour tous les types de production, y compris le veau de boucherie, et cela permet d'aborder les questions exposées dans l'introduction.

La répartition des veaux en fonction de l'année et du type génétique figure au tableau 1.

TABLEAU 2

Modalités de distribution de l'aliment d'allaitement (P) et du lait de remplacement (L) en kg/j

Poids de naissance	< 40 kg		40 à 48 kg		48 à 53 kg		> 53 kg	
	P	L	P	L	P	L	P	L
Adaptation (jours)								
3-4-5	0,30	3,0	0,30	3,0	0,50	3,0	0,50	3,0
6-7-8	0,40	4,0	0,50	4,0	0,70	5,0	0,80	5,8
9-10-11	0,60	5,0	0,70	5,0	0,90	6,4	1,0	6,8
12 et plus	0,80	6,0	0,90	6,4	1,1	7,2	1,2	7,8
Engraissement (semaines)								
1	0,9	6,7						
2	1,0	7,0						
3	1,2	7,8						
4	1,3	8,3						
5	1,5	9,2						
6	1,7	9,9	idem		idem			
7	1,8	10,0	< 40 kg		< 40 kg			
8	1,9	10,3	+ 1 semaine		+ 2 semaines			
9	2,0	10,8						
10	2,2	11,6						
11	2,3	11,9						
12	2,4	12,0						
13	2,6	12,0						
14	2,7	12,1						
15	2,8	12,2						
16	2,8	12,0						

2. Méthodes de conduite

Il n'y a pas de bâtiment spécifique pour l'engraissement des veaux à la manière habituelle, c'est-à-dire en box individuels. Les animaux sont conduits en lots de 4 à 8 veaux par parc sur aire paillée dans une nurserie fermée et non ventilée. Des radiants gaz permettent de réchauffer le bâtiment et de maintenir une température minimum de 8 à 12 °C. Les veaux sont munis de muselière dès leur mise en engraissement et alimentés individuellement au seau.

En ce qui concerne les aspects autres que l'habitat, on s'est efforcé de simuler la conduite classique en atelier d'engraissement de veau de boucherie. Il y a donc une première période d'adaptation au régime (censée représenter la période où le veau passe de chez le naisseur à l'atelier, avec le stress de transport en moins). La durée de cette période et les quantités distribuées sont modulées en fonction du poids de naissance et des croissances effectives (tabl. 2). L'objectif est de produire des veaux pesant entre 45 et 55 kg à la mise en engraissement (deuxième période). la durée de cette période d'adaptation varie de 12 à 20 jours.

La période d'engraissement proprement dite dure en moyenne 15 semaines. Les modalités d'alimentation sont décrites au tableau 2. On constate que, là encore, on module les quantités distribuées en fonction du poids initial des animaux (4 classes). Une alimentation fixée uniquement selon l'âge aurait potentiellement ralenti la vitesse de croissance des animaux lourds (besoins d'entretien plus élevés en valeur relative). Les quantités d'aliment d'allaitement offert et, éventuellement la concentration du lait de remplacement sont ajustées chaque semaine en fonction du planning. Le même aliment d'allaitement du commerce a été utilisé pendant l'ensemble des 4 années. Sa composition a été stable (60 p. 100 de poudre de lait écrémé et au minimum 22 p. 100 de protéines et 22 p. 100 de lipides).

Les veaux ont tous été implantés une seule fois au fanon sous contrôle vétérinaire au Forplix (36 mg de zéranol et 140 mg d'acétate de trenbolone). La pose de l'implant est effectuée dès que le poids du veau se situe dans la fourchette 100-110 kg.

En ce qui concerne la méthode d'abattage, on s'est efforcé de produire des carcasses d'environ 110 kg de poids froid, ce qui correspond à la tendance du marché. On a donc abattu les animaux au poids vif théorique de 190-195 kg : l'existence d'animaux sortant de cette fourchette provient du fait que certains lots très réduits ont été regroupés pour des raisons d'économie, l'abattoir se situant à 40 km. Pour simplifier la conduite et également faciliter l'interprétation des résultats, on n'a pas tenu compte de la race.

3. Méthodes de mesure des variables zootechniques

Les quantités distribuées ainsi que les quantités refusées

* Termes expliqués en annexe.

sont mesurées individuellement et à chaque repas pendant toute la durée de présence des animaux. Les veaux sont pesés à la naissance, puis régulièrement tous les 15 jours. On les pèse en outre le jour du début de la période d'engraissement, le jour de l'implantation et la veille du départ à l'abattoir. Toutes ces pesées sont toujours réalisées aux mêmes heures l'après-midi. Pendant la période d'engraissement, on effectue des mesures du taux d'hématocrite (pour complémenter en fer les animaux déficients et pour étudier la liaison éventuelle avec la note de pointage de la couleur sur la carcasse). Ces mesures sont réalisées en début d'engraissement (15 jours à 3 semaines d'âge) puis toutes les 3 à 4 semaines et enfin juste avant l'abattage.

L'appréciation de la conformation bouchère des carcasses et de la couleur de la viande a été effectuée en double, d'une part par le technicien de l'organisme acheteur, d'autre part par le premier auteur qui a suivi des sessions d'harmonisation de pointage au Laboratoire de Recherches sur la Viande de l'ITEB à Villers-Bocage. En ce qui concerne l'état d'engraissement, le pointage a été biaisé dans les deux cas par l'émoussage effectué en cours d'abattage. Ce que l'on constate, c'est que les notes sont très peu variables sans que l'on sache si cela tient au fait que les carcasses étaient effectivement très homogènes au départ ou au fait que l'émoussage a éliminé la majeure partie des différences visibles. De ce fait, on a jugé préférable de ne pas parler des notes d'engraissement.

En outre, des mensurations simples ont été effectuées sur la carcasse. La longueur a été mesurée par différence : (crosse-sol) — (1er cervicale-sol). L'épaisseur de la cuisse a été mesurée à l'aide d'une toise entre la symphyse et le rebondi de la cuisse. La mesure a été réalisée sur les cuisses droite et gauche de manière à effectuer la moyenne (l'os symphyse n'étant pas obligatoirement fendu juste au milieu). Un pied arrière et un pied avant ont été prélevés pour désossage. Le poids des os métacarpe et métatarse est appelé « poids des canons ».

4. Données économiques

Le prix total de la carcasse a été évalué suivant une méthode destinée à minimiser l'influence de la conjoncture économique et de la période de l'année, et non à partir des prix réels payés. Pour cela on a utilisé un barème d'actualisation qui figure au tableau 3. Il correspond à la moyenne des prix au kg de carcasse des animaux abattus en 1983 (1/3 au 1/8), les calculs qui vont suivre ayant été effectués dès décembre 83.

La marge alimentaire (= marge hors alimentation) a été calculée en déduisant les frais d'alimentation, le prix de l'aliment d'allaitement étant celui correspondant à l'époque de l'établissement du barème (6,07 F/kg).

TABLEAU 3

Barème de calcul des prix du kg de carcasse
(en francs 1983)

Classe EUROPA \ Couleur	1	2	3
R	-	25,20	24,10
O	25,20	24,20	23,50
P	-	23,80	-

5. Méthodes d'évaluation des niveaux génétiques laitiers des veaux mâles

Le principe est le même que celui qui est utilisé pour l'évaluation de la valeur génétique des jeunes génisses nées dans les troupeaux au contrôle laitier national (POUTOUS *et al.*, 1981) : il s'agit de la moyenne de l'index laitier du père et de l'index de la mère.

Le troupeau du Pin n'étant pas soumis au contrôle laitier, ces index sur ascendance, ou index généalogiques, ont dû être calculés. Mais nous avons préféré ne pas tenir compte des lactations effectuées au Pin car nous n'étions pas sûrs de pouvoir faire une bonne correction pour l'incidence des effets non génétiques sur les lactations, à cause de la faiblesse des effectifs et de certaines particularités de conduite. De ce fait, les index généalogiques ne sont que des combinaisons d'index taureaux, les coefficients utilisés dépendent du nombre de générations séparant le taureau du veau que l'on cherche à évaluer.

Le coefficient de détermination des index ainsi obtenus est de l'ordre de 0,27, précision qui correspond à peu près à la connaissance d'une lactation effectuée par l'individu. Une difficulté supplémentaire provient du fait que les index officiels des taureaux mentionnés ne sont pas toujours référencés par rapport à la même base, même en raisonnant sur une race libre d'importations comme la Normande. Pour cette raison, tous les index de taureaux ont été référencés par rapport à une base unique par race : en Normande, la *base fixe** des taureaux Normands et en Holstein, la première base fixe des taureaux Holsteins, utilisée par les américains (PD 74).

Les statistiques concernant les index généalogiques ainsi obtenus figurent au tableau 4. Compte tenu des informations relatives à la campagne d'insémination 1983 en France (BOULANGER, comm. pers.), nos veaux ont une valeur génétique comparable à celle des taureaux utilisés lors de cette campagne, dans les deux races respectives, ce qui est déjà un résultat intéressant. Ils sont toutefois encore loin des taureaux de tête (+ 60 kg MU, dans chaque race par rapport aux bases fixes mentionnées). C'est pour cette raison que la sélection continue toujours.

TABLEAU 4

Valeurs en bases fixés des index généalogiques des veaux pour la matière utile.
(en Holstein : base fixe américaine PD74 ; en Normande : base fixe Normande).

Année \ Type génétique	HF^+	HF^T	NO^+
80	+ 21	+ 10	+ 21
81	+ 21	+ 12	+ 22
82	+ 21	+ 10	+ 27
83	+ 25	+ 11	+ 29
Total	+ 23	+ 11	+ 26

NB Pour se ramener en bases mobiles françaises 1985 :
en Holstein : ajouter 4
en Normande : retrancher 15

6. Signification du lot témoin

En toute rigueur, il ne représente que lui-même puisque les mêmes 6 taureaux sont à la fois pères, grand-pères, arrière-grand-pères : c'est un véritable isolat génétique. Sa raison d'être est de permettre la mesure des évolutions génétiques dans les lots sélectionnés : le lot témoin constitue en quelque sorte la « ligne de mire ». Sa présence aide à établir des corrections efficaces pour les facteurs non génétiques. Les résultats du lot témoin figurent dans les tableaux qui vont suivre, à titre d'information. Seule compte la différence $HF^+ - NO^+$.

7. Méthode d'analyse statistique

Les moyennes par race présentées sont en fait des moyennes systématiquement corrigées par la méthode des moindres carrés pour les facteurs année et âge des mères, même quand ceux-ci n'avaient pas d'influence significative.

Les coefficients de corrélation génétique entre la production laitière et les caractères de production de viande sont évalués à partir (et non par) des coefficients de corrélation observés entre l'index généalogique laitier et le caractère de production de viande. Ces coefficients observés sont en effet la résultante de trois phénomènes :

- la corrélation génétique entre la production laitière et la production de viande (= ?) ;
- la précision (coefficient de détermination) de l'index généalogique de production laitière (0,27) ;
- l'héritabilité des performances de production de viande (0,40).

En court-circuitant la partie quantitative théorique (cf. COLLEAU *et al.*, 1983), on arrive alors à : *corrélation génétique estimée ≃ 3 fois la corrélation observée entre index généalogique laitier et la performance viande.*

Les calculs sont faits séparément pour chacun des trois lots chaque année, les 12 évaluations sont ensuite regroupées (corrélation intra-race intra-année). On notera qu'on n'a pas mélangé les 2 lots de Holstein, parce que les index généalogiques les plus faibles en race Holstein se seraient alors situés dans le lot témoin. Cela aurait pu amener à des résultats contestables très sensibles à la valeur génétique bouchère du lot témoin.

Résultats

1. Comparaison de races et types génétiques

a) Croissance et engraissement (tabl. 5)

De la naissance au début de l'engraissement, on ne note pas de différences sensibles entre génotypes, tant pour les poids que pour les vitesses de croissance. Le format moyen à la naissance dans tous les types est élevé.

TABLEAU 5

Comparaison des races pour les performances de croissance et d'engraissement

Type génétique	HF+	HFT	NO+	Test des différences
Naissance				
Poids de naissance(kg)	45,9	46,6	45,4	
Adaptation				
Durée (j)	18	17	19	
Vitesse de croissance (g/j)	298	245	251	
Poids final (kg)	52	51	50	
Engraissement (Totalité)				
Durée (j)	104	108	105	*
Age abattage (j)	122	125	124	*
Poids final (kg)	194	190	191	*
Vitesse de croissance (g/j)	1376	1290	1352	***
Quantité de poudre totale (kg)	213	221	209	*
Quantité de poudre par jour (kg/j)	2,05	2,05	1,99	*
Quantité de poudre/kg gain (kg/kg)	1,50	1,60	1,49	***
Hématocrite fin engraissement (%)	29,9	28,7	27,1	
Engraissement (avant implantation)				
Durée (j)	48	49	48	
Age implantation (j)	66	66	67	
Poids final (kg)	106	104	105	
Vitesse de croissance (g/j)	1152	1080	1147	**
Quantité de poudre totale (kg)	73	75	72	
Quantité de poudre/ jour (kg/j)	1,52	1,53	1,50	
Quantité de poudre /kg gain (kg/kg)	1,34	1,41	1,32	**
Engraissement (après implantation)				
Durée (j)	56	59	57	
Vitesse de croissance (g/j)	1566	1470	1533	**
Quantité de poudre totale (kg)	141	145	138	
Quantité de poudre /jour	2,52	2,46	2,42	*
Quantité de poudre /kg gain (kg/kg)	1,60	1,64	1,60	**

En ce qui concerne l'engraissement, on note que les Holsteins sélectionnés ont été abattus à un poids vif légèrement supérieur à celui des autres types génétiques. C'est donc un point à améliorer pour la suite de ces essais. Il existe des différences significatives pour la vitesse de croissance, la consommation et l'indice de consommation, mais elles proviennent

pratiquement exclusivement de la présence du lot témoin. Les lots HF+ et NO+ ont en effet un comportement pratiquement identique.

La période d'implantation représente 54 p. 100 de la durée totale de l'engraissement. La pose de l'implant est associée à une augmentation spectaculaire des rythmes de croissance (+ 400 g/jour environ), insuffisante toutefois à empêcher une évolution défavorable de l'indice de consommation, liée à l'âge et à une adipogénèse croissante. On note que le classement des types génétiques dans les deux sous-périodes est le même. Ceci est tout à fait en accord avec les résultats de REGIS (1978) quand il comparait différents types de croisés Holstein, avec ou sans implant.

b) Performances de carcasse (tabl. 6)

TABLEAU 6

Comparaison des races pour les performances de carcasse

Variable \ Type génétique	HF+	HFT	NO+	Test des différences
Poids carcasse froide (chaude - 2 %) (kg)	112,6	110,1	114,5	**
Rendement commercial (%)	58,0	58,0	59,9	*
Longueur carcasse (cm)	186,1	184,4	182,0	***
Epaisseur cuisse (cm)	20,5	20,3	21,2	**
Compacité carcasse (kg/cm)	0,61	0,61	0,64	***
Poids des canons en % poids carcasse chaude	0,64	0,64	0,60	***
Conformation carcasse				
Acheteur	4,4 (0-/0)	4,3 (0-/0)	5,8 (0+)	*
INRA	4,4 (0-/0)	4,1 (0-)	6,0 (0+)	***
Couleur viande				
Acheteur	1,9	2,2	2,1	*
INRA	1,9	2,2	2,0	*
Prix actualisé de la carcasse (francs 1983)	2789	2707	2864	***
Marge hors alimentation (1) (francs 1983)	1496	1363	1592	***

(1) Prix de la carcasse - Prix de l'aliment ingéré.

Les différences entre HF+ et NO+ sont très importantes et significatives. Le lot HF+ présente :

- 2 points de rendement commercial en moins soit 2 kg de carcasse en moins ;
- des carcasses plus longilignes (+ 4 cm en long, — 0,7 cm à la cuisse) et donc plus mal pointées en conformation (— 1,6 point soit — 0,5 classe EUROPA) ;
- des carcasses plus osseuses.

c) Bilan économique simplifié (tabl. 7)

La comparaison est très clairement au bénéfice du lot Normand (+ 75 F en carcasse et + 96 F en marge alimentaire). L'ampleur de cette différence est toutefois beaucoup plus faible

TABLEAU 7

Estimation des coefficients de corrélation génétique avec la quantité de matière utile
(seuil de signification : 0,45)

Poids de naissance	0,15
Vitesses de croissance	
- adaptation	0,06
- engraissement	0,63 **
- avant implantation	0,78 ***
- après implantation	0,39
Indices de consommation	
- engraissement	- 0,66 **
- avant implantation	- 0,66 **
- après implantation	- 0,54 *
Hématocrite avant abattage	- 0,45 *
Rendement commercial	- 0,30
Longueur carcasse	0,87 ***
Epaisseur cuisse	- 0,18
Compacité carcasse	- 0,15
Poids des canons en % poids carcasse chaude	0,75 ***
Conformation carcasse	
Acheteur	- 0,12
INRA	- 0,12
Couleur viande	
Acheteur	- 0,45 *
INRA	- 0,42
Prix de la carcasse	0,30
Marge hors alimentation	0,45 *

que la différence de cours à 8 jours entre les deux races (environ 400 F ; DUBIS, 1979) ou la différence de marge alimentaire en taurillon : 330 F + le prix de 200 UF (COLLEAU *et al.*, 1979).

d) Aperçu sur les interrelations entre variables

La marge alimentaire (qui finalement est le critère d'évaluation le plus utile) est plus liée au prix actualisé de la carcasse (r = 0,82) qu'à la quantité de poudre consommée (r = —0,59).

Le prix de la carcasse est beaucoup plus lié à son poids (r = 0,93) qu'à sa conformation (r = 0,53) ou à sa couleur (r = 0,45), couleur qui, elle-même, peut dans une certaine mesure être prédite par la valeur de l'hématocrite avant abattage (r = 0,35).

La quantité totale d'aliment d'allaitement consommé est extrêmement liée à la durée d'engraissement (r = 0,88). Elle est liée négativement au poids au début des contrôles (r = — 0,30) parce qu'un poids élevé en début de contrôle est associé à une vitesse de croissance élevée (r = 0,32) et aussi à une durée réduite (r = — 0,52).

2. Effet du niveau génétique laitier à l'intérieur d'une race (tabl. 8)

Il faut signaler tout d'abord que la méthode d'analyse précédemment décrite est très sensible à l'échantillonnage puisque les variations aléatoires sont amplifiées par le coefficient 3. En

TABLEAU 8

Valeurs précédemment obtenues au Pin à propos des liaisons entre la production laitière ou le potentiel génétique laitier et la couleur de la viande

Vaches de réforme Essai 1	37 vaches Normandes abattues en 1972 fin 3ème lactation. Corrélation fer héminique - dernière lactation a) Long Dorsal : - 0,35 * b) Pectoral Profond : - 0,33 * (COLLEAU, 1976)
Vaches de réforme Essai 2	71 vaches Normandes et croisées Holstein abattues de 1978 à 1981. (parmi les 96 de COLLEAU et al., 1984) Corrélations intra-race intra n° de lactation entre Fer héminique et dernière lactation a) Long Dorsal : - 0,14 b) Pectoral Profond : - 0,60 **
Taurillons	119 taurillons Normands abattus entre 1971 et 1980. Corrélations génétique entre Fer héminique et niveau laitier. a) Lond Dorsal : - 0,10 b) Pectoral Profond : - 0,11 (dépouillement en cours)

pratique, le seuil de signification est de l'ordre de 0,45 ! Ce qui veut dire que l'on ne peut mettre en évidence que des tendances et ce sont celles-ci dont on discutera dans ce qui suit.

Il est illusoire de croire qu'il existe des méthodes qui permettent des évaluations précises avec des animaux assez mal connus sur le plan de leur valeur laitière. En l'absence du testage sur descendance, la méthode que nous avons utilisée est la seule possible. Le seul recours est alors de multiplier les observations. De l'ordre de 500 veaux, peu apparentés, seraient nécessaires pour une évaluation précise des corrélations génétiques entre chaque critère important et la production laitière, de manière à aboutir à des résultats cohérents sur l'ensemble des variables. C'est la raison pour laquelle l'essai décrit ici est destiné à continuer encore plusieurs années.

Les *tendances* qui apparaissent à propos des conséquences d'une sélection laitière intensive sont les suivantes (tabl. 7) :

a) augmentation de la vitesse de croissance (particulièrement sans implant ?) et diminution corrélative de l'indice de consommation,

b) dégradation du rendement commercial,

c) allongement des carcasses et diminution corrélative de leur compacité,

d) augmentation de la proportion d'os dans la carcasse,

e) diminution « apparente » de la couleur de la viande et diminution du taux d'hématocrite avant abattage (mais qu'en serait-il sans complémentation en fer ?),

f) maintien au minimum et même tendance à l'amélioration de la marge alimentaire à cause de l'amélioration de l'indice de consommation et de la diminution de la couleur qui agit favorablement sur le prix des carcasses.

Les 4 premiers points ont de grandes chances d'être vérifiés par la suite puisqu'on retrouve ces mêmes tendances chez le taurillon, à la fois dans ce même troupeau et dans la littérature. Certaines corrélations ont néanmoins encore une valeur visiblement trop élevée.

En ce qui concerne le point e), nous n'avons pas trouvé de références. Cependant nous signalons que nous avons *toujours* trouvé dans cette expérimentation, sur tous types d'animaux, une opposition entre couleur de la viande et production laitière ou index laitier sur ascendance (tabl. 8). Si elle est réelle, elle constitue un handicap supplémentaire pour la production de taurillons mais elle se révèle être un avantage dans le domaine de la production de veau.

Conclusion

Les veaux mâles Holsteins purs présentent manifestement un potentiel de croissance très élevé. Dans le cadre de cet essai, il n'a pas été possible d'évaluer l'importance des dépôts adipeux de façon fiable. Cependant, l'obtention d'indices de consommation non significativement détériorés par rapport au veau Normand, laisse à penser qu'on est ici dans une situation biologique très différente de celle du taurillon (le taurillon Holstein étant un bien moins bon transformateur que le taurillon Normand). Un alourdissement des carcasses peut être alors envisagé (bien que les veaux en question aient déjà des carcasses de poids froid moyen de l'ordre de 113 kg), sous réserve que la sanction économique au niveau de la couleur ne soit pas trop sévère.

L'infériorité de la marge hors alimentation obtenue en rapport à son homologue en race Normande est sans commune mesure avec l'écart de prix des veaux à 8 jours ($\simeq$ 120 F par rapport à $\simeq$ 400 F). Les conclusions qui s'imposent donc sont sans doute des évidences mais nous les répétons :

- la fin en boucherie de tout mâle Holstein doit être effectuée prioritairement en veau. Les exceptions possibles sont la production de taurillons ou de bœufs avec des rations à très bon marché dont l'existence reste à démontrer ;

- l'abattage de mâles Normands en veau de boucherie constitue un gaspillage, qui n'est justifié ni du point de vue économique, ni d'un point de vue national, eu égard au potentiel de production de ces animaux.

Les effets de la sélection laitière dans une race donnée sont particulièrement difficiles à cerner, parce que très exigeants en effectifs. Les premiers résultats qui ressortent ici (mais qui restent à confirmer) sont que la marge alimentaire ne devrait pas être dégradée, plusieurs facteurs intervenant dans cette marge semblant évoluer favorablement avec la sélection laitière. Ceci ne serait pas contradictoire avec les premiers résultats de GAILLARD et LEMEZEC (1984), COLLEAU (1981) qui trouvent qu'à l'intérieur d'un type génétique donné, il n'y a pas de liaison flagrante (en + ou en —) entre le niveau génétique laitier et le prix des veaux à 8 jours.

Annexe

Base fixe

Ensemble de taureaux servant de référence pour le calcul des index. L'index moyen de ces taureaux exprimé en base fixe est par définition égal à 0.

Pour la France et par convention, les taureaux de référence sont ceux ayant eu des filles vêlées pour la première fois entre le 1/10/72 et le 1/10/74. Ce calcul est fait pour chaque race. La convention adoptée par les USA n'est pas la même (voir ITEB-INRA, 1984).

Base mobile

En France, les calculs d'index sont exécutés en base fixe mais édités par rapport à un témoin mobile. Ce lot mobile est constitué par les 4 dernières séries de taureaux : en 1985, la base mobile est donc l'ensemble des taureaux dont la première fille a vêlé pour la première fois entre le 1/10/80 et le 1/10/84.

Matière utile

1/2 (matière grasse totale + 1,21 matière protéique totale).

A peu de choses près, l'utilisation de cet index dans une population *fermée* entraîne l'augmentation maximale de la production laitière compatible avec un maintien moyen des 2 taux.

Références bibliographiques

BONHOMME D., FOULLEY J.L., 1974. Facteurs de variation de l'hématocrite des bovins. III. Analyse de la variabilité génétique et phénotypique en croisement industriel. *Ann. Génét. Sél. anim.*, **6**, 49-68.

CADOT M., 1985. Utilisation de veaux mâles croisés FFPN x Holstein pour la production de viande. II. Utilisation en production de taurillons. *Annuel pour l'éleveur de bovins*, **7**, 105-111 (Edit. ITEB).

CHAILLOU J.F., 1985. Utilisation de veaux mâles croisés FFPN x Holstein pour la production de viande. I. Utilisation en production de veaux de boucherie. *Annuel pour l'éleveur de bovins*, **7**, 95-104 (Editions ITEB).

COLLEAU J.J., 1976. Troisième bilan de l'expérimentation bovine du Pin-au-Haras. Polycopié, 71 p.

COLLEAU J.J., 1981. La « Holsteinisation » de la race Frisonne : conséquences pour la sélection. *La Production laitière française*, INRA Publ., 271-281.

COLLEAU J.J., LIENARD G., JOURNET M., 1979. Comparaison économique entre race Holstein et race Normande. *Bull. tech. CRZV Theix, INRA*, **35**, 67-84.

COLLEAU J.J., LEFEBVRE J., DUPONT M., FELGINES C., WIMITSKY M., 1983. Sélection laitière divergente en race bovine Normande. I. Effets sur la production de viande des taurillons. *Génét. Sél. Evol.*, **15** (1), 119-146.

COLLEAU J.J., DUPONT M., MULLER A., DABURON E., CHAMBEYRON J.J., MALTERRE C., 1984. Effets d'une sélection laitière divergente en race Normande sur la production de viande de taurillons. *Bull. tech. CRZV Theix, INRA*, **(57)**, 35-59.

COLLEAU J.J., MALTERRE C., TOURAILLE C., 1984. Influence du type génétique et du niveau de production laitière sur la qualité des carcasses et des viandes de vaches laitières réformées. *Bull. tech. CRZV Theix, INRA*, **(58)**, 45-52.

DUBIS, 1979. Quelles vaches laitières pour demain ? Comparaison de différents types (Résumé). *Etude ITEB nº 79052*, 19 p.

GAILLARD J., LE MEZEC Pascale, 1984. Evaluation des qualités bouchères des taureaux dans les programmes de sélection en race française Frisonne. *Journées Holsteinisation et Production de Viande* ITEB, Paris, 19 janvier 1984.

ITEB, 1985. Résultats des contrôles de la descendance « veaux de huit jours » des taureaux laitiers. *Compte rendu nº 1312 de la Section Amélioration génétique*, ITEB, Paris.

ITEB-INRA, 1984. Bilan d'indexation laitière des reproducteurs bovins. *Compte rendu nº 1265 de la Section Amélioration génétique de l'ITEB.*

MELET L., 1984. Rentabilité comparée de la production de taurillons. *Journée Holsteinisation et Production de Viande*, ITEB, Paris, 19 janvier 1984.

POUTOUS M., BRIEND Michelle, CALOMITI S., DOAN D., FELGINES C., STEIER G., 1981. Méthode de calcul des index laitiers. *Bull. tech. Ing. Serv. Agric.*, **361**, 433-446.

REGIS R., 1978. Comparaison de l'aptitude à la production de veaux de boucherie de différents types génétiques Pie-Noirs. *Document GEE Pays de Loire — OGER — ITEB*, 17 p.

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1985 (60) 13-23

Influence de l'alimentation sur la composition du lait
1. Taux butyreux : facteurs généraux (1)

M. JOURNET* et Y. CHILLIARD**

* *Station de Recherches sur la Vache laitière, St-Gilles, 35590 L'Hermitage*

** *Laboratoire de la Lactation*

Parmi les différents constituants du lait, la matière grasse est l'un de ceux dont la teneur et les quantités produites sont les plus variables. Il est surtout intéressant de savoir dans quelles limites l'éleveur peut maîtriser les variations puisque la sécrétion de matières grasses influence à la fois les besoins énergétiques des animaux et la qualité du lait (matière utile).

Par ailleurs, la composition en acides gras de la matière grasse est elle-même très variable et elle peut modifier les qualités technologiques et diététiques des produits laitiers.

Les matières grasses sont synthétisées essentiellement à partir des acides gras volatils produits dans le rumen, et des acides gras longs absorbés dans l'intestin ou provenant des tissus adipeux (cf. CHILLIARD ET SAUVANT, 1984). Les facteurs alimentaires en sont donc un important régulateur puisqu'ils modifient directement la disponibilité de chacun de ces précurseurs de la lipogénèse mammaire.

Le taux butyreux du lait résulte du rapport entre la quantité de matières grasses et la quantité de lait secrétées. Il est donc important, tant pour la compréhension des phénomènes que pour évaluer la signification pratique des variations de taux butyreux, de considérer simultanément les variations de la secrétion de matière grasse et du lait produit.

I. Niveau des apports alimentaires

Il est souvent difficile de dissocier les effets du niveau des apports alimentaires de celui d'une modification de la composition de la ration et en particulier du rapport Fourrage/Concentré qui varient souvent de façon simultanée.

(1) Texte présenté lors des journées INRA-ENSAR-INAPG sur la composition chimique du lait et ses incidences technologiques - Rennes, septembre 1984.

1. Apports énergétiques (ou globaux)

Une réduction des apports énergétiques se traduit par une diminution de la quantité de lait et par une mobilisation des réserves corporelles, lipidiques surtout, d'où peut résulter un accroissement du taux butyreux. En fait celui-ci n'est important qu'en cas de sous-alimentation brutale. Ainsi, une réduction de 50 p. 100 des apports énergétiques (DECAEN et ADDA, non publié) a provoqué au bout de 4 jours une baisse de la production de lait de 26 p. 100 et une élévation du taux butyreux de 9 g p. 1000, alors que la quantité de matières grasses produite variait peu.

La plupart des auteurs observent cette augmentation du taux butyreux, qui résulte d'un enrichissement de la matière grasse en acides gras longs (tabl. 1). Un phénomène semblable s'observe au vêlage où la montée rapide de la production de lait et le changement d'état hormonal provoquent une mobilisation des lipides corporels. Les acides gras longs circulants sont alors prélevés par la mamelle, ce qui occasionne les taux butyreux élevés observés au cours des premières semaines de lactation. Ceux-ci sont étroitement reliés à l'importance du déficit énergétique, ainsi qu'au taux des acides gras libres plasmatiques ou au pourcentage d'acides gras longs (C 18) du lait aussi bien chez la vache (DECAEN et JOURNET, 1967 ; DECAEN et ADDA, 1970 ; FARRIES, 1982) que chez la chèvre (CHILLIARD *et al.*, 1977 ; CHILLIARD et SAUVANT, 1984). Un accroissement du déficit énergétique à cette période provoque une augmentation du taux butyreux, principalement chez les multipares en bon état corporel au vêlage qu'elles soient à faible ou à fort taux butyreux (tabl. 2).

En revanche, sur de très longues périodes en milieu de lactation ou sur des lactations entières le niveau des apports énergétiques modifie peu le taux butyreux (HANSSON *et al.*, 1954) tout au moins chez les vaches à niveau de production faible ou moyen et recevant des rations à proportion élevée de fourrages (revue de JARRIGE et JOURNET, 1959). Il en est de même pour un niveau élevé de production laitière lorsque : 1) les ali-

TABLEAU 1

Effets d'une réduction brutale du niveau des apports énergétiques sur le taux butyreux et la proportion des acides gras longs du lait

Espèce	Apports	Lait (kg/j)	Taux butyreux (g p.1000)	Matières grasses (g/j)	C18 : 0 + C18 : 1 (%) (1)	Auteurs
Vache	100% besoins	23.0	38.9	880	-	KELLOG et MILLER, 1977
	30% (4 jours)	15.1	63.2	930	-	
	Ad. lib.	9.9	49	485	21.1	STOBBS et BRETT, 1974
	50% Ad. lib. (6 jours)	7.2	54	389	33.6	
	100% besoins	17.0	38.5	655	23.0	DECAEN et ADDA, non publié
	50% (4 jours)	13.5	47.3	639	38.5	
Chèvre (2)	Ad lib.	0.82	44.5	37.4	28.5	CHILLIARD, HERVIEU et DORLEANS, non publié.
	Jeûne (48 h)	0.38	61.5	24.1	53.8	

(1) *Acides stéarique et oléique*
(2) *Lait du soir, 6ème mois de lactation*

TABLEAU 2

Influence d'une réduction importante du niveau d'alimentation en début de lactation sur la production de lait et le taux butyreux

Période (semaines)	Niveau d'alimentation	Lait (kg/j)	Taux butyreux g p.1000	Perte de poids vif (g/j)	Auteurs
1 - 9	Haut	19.6	38.3	+ 166	BROSTER, 1969 (1)
	Bas	17.1	38.4	- 252	
3 - 8	Haut	10.1	50.6	-	FLUX et PATCHELL, 1954 (2)
	Bas	7.5	55.6	-	
1 - 8	G - Haut	30.4	40.8	- 232	REMOND, CHILLIARD et LARNICOL, non publié (3)
	G - Bas	28.9	43.6	-1000	
	M - Haut	28.9	39.7	+ 250	
	M - Bas	26.0	39.1	+ 54	

(1) *2 lots de 40 vaches primipares de race Pie-Noire*
(2) *14 couples de vraies jumelles de race Jersey*
(3) *Laboratoire de la Lactation - INRA - Theix*
4 lots de 12 vaches multipares de race Holstein X Frisonne
G, M = état "Gras" ou "Maigre" au vêlage

TABLEAU 3

Effet du niveau d'alimentation au cours d'une lactation entière sur la production de lait et le taux butyreux
(OOSTERGAARD, 1978)

	Niveau d'alimentation		
	Bas	Moyen	Haut
Apport % besoins	93	100	108
Proportion de concentrés (% matière sèche) (1)	47	54	59
Lait (kg/j) (2)	19.3	20.0	21.5
Taux butyreux (g p.1000)	38.4	38.6	38.6

(1) *UF scandinaves 1,01/kg; MAD 160 g/kg; extrait éthéré 60 g/kg; orge aplatie 35%, avoine aplatie 18%, son de blé 6%, mélasse 6%, tourteaux 35% (coton 30%, soja 22%, tournesol 20%, colza 10%, lin 7%, matières grasses animales 4%, mélasse 5%, minéraux 2%)*
(2) *pendant 36 semaines*

TABLEAU 4

Influence du niveau des apports alimentaires et du rapport «fourrage/concentré» sur la production de lait et le taux butyreux au cours d'une lactation entière
(WIKTORSSON, 1971)

	Niveau d'alimentation		
	Bas	Moyen	Haut
Energie métabolisable (Mcal E.M./kg lait à 4%)	0.91	1.11	1.39
Matières azotées digestibles (g/kg lait à 4%)	51	62	73
Proportion de concentrés (% matière sèche) (1)	44	53	60
Lait (kg)	4783	5325	5687
Taux butyreux (g p.1000)	39.6	39.2	37.0

(1) *orge 40%, avoine 40%, tourteaux 20%*
(coton 35%, soja 25%, arachide 20%, colza 20%) (sous forme broyée)

ments concentrés utilisés sont riches en constituants pariétaux (avoine, orge, sons, pulpes, ...), 2) les céréales sont aplaties, 3) la ration de base comporte des betteraves et de la mélasse (tabl. 3) et que la proportion d'aliment concentré (+ betteraves + mélasse) ne dépasse pas 60 p. 100 pour le niveau Haut d'alimentation (OOSTERGARD, 1978). Dans le cas contraire, des baisses de taux butyreux pouvant atteindre 2 à 4 g p. 1000 ont été observées lorsque le niveau d'alimentation et la proportion d'aliment concentré s'accroissent conjointement (WIKTORSSON, 1971, tabl. 4) ou lorsque le niveau d'alimentation s'accroît à même proportion d'aliment concentré (OLDHAM et SUTTON, 1979, fig. 1).

Ces baisses de taux butyreux doivent être attribuées à un

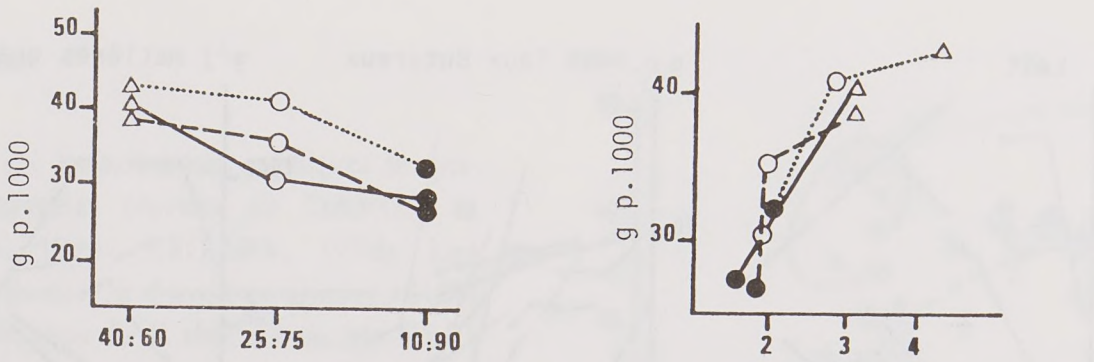


FIG. 1 : *Relation entre le taux butyreux, le niveau d'ingestion et le rapport des acides gras volatils dans le rumen*

changement du rapport des produits terminaux de la digestion favorisant la lipogénèse corporelle au détriment de la lipogénèse mammaire (OLDHAM et SUTTON, 1979), mais aussi dans certains cas à un effet de dilution lorsque la production de lait augmente et que la production de matières grasses reste constante.

2. Niveau des apports azotés

Les apports azotés sous forme d'acides aminés (au niveau intestinal) peuvent agir *«sinsus stricto»* sur la synthèse des constituants du lait. Ils stimulent la production de lait et davantage celle de protéines que de matières grasses. En moyenne, dans 11 essais, de la caséine infusée dans la caillette ou le duodénum (400 g de caséinate de sodium), a fait croître le taux protéique du lait de 1,6 g p. 1000 et a fait diminuer le taux butyreux de 0,9 g p. 1000 (cf. RULQUIN, 1982).

La suppression du déficit protéique (PDI) en début de lactation par un apport supplémentaire de tourteaux tannés (à même niveau d'apport énergétique et à même proportion de concentré) n'a cependant pas permis de modifier significativement les taux butyreux et protéique du lait (tabl. 5). Les apports azotés peuvent également agir en modifiant le niveau des apports énergétiques, soit par une amélioration de la digestibilité de la matière organique (apport d'azote soluble ou d'azote aminé), soit en accroissant la capacité d'ingestion des vaches (apport d'azote aminé). En début de la lactation chez des vaches recevant à volonté des ensilages de maïs d'excellente qualité, l'amélioration de la nutrition azotée augmente la production de lait tout en diminuant la mobilisation des réserves lipidiques, cependant le taux butyreux ne diminue pas ; il a plutôt tendance à croître car l'ingestion de fourrage et sa proportion dans la ration s'accroissent (tabl. 5).

TABLEAU 5

Influence du niveau des apports azotés en début de lactation (1) sur la production et la composition du lait et sur les pertes de poids de vif corporel, selon que les fourrages sont distribués en quantité limitée ou à volonté (2)

Distribution du fourrage	Limité		A volonté	
Niveau d'apport azoté	Bas	Haut	Bas	Haut
Quantités ingérées : Kg MS				
. Ensilage de maïs	10.5	10.5	11.2	13.4
. Aliment concentré	5.5	5.6	4.7	4.8
Apports - PDI	1430	1750	1350	1920
UFL	15.4	15.5	14.3	16.2
Lait : kg	24.9	28.0	25.9	29.6
Taux butyreux : g p.1000	40.1	39.3	41.4	42.6
Taux protéique: g p.1000	32.5	32.3	32.2	32.7
Perte de poids vif (kg)	- 13	- 20	- 23	- 13

(1) 6 ou 8 premières semaines de la lactation
(2) distribution des fourrages en quantité limitée (2 essais) et à volonté (2 essais)
- D'après VERITE, DULPHY et JOURNET, 1982.

II. Effets des glucides de la ration par une modification des produits terminaux de la digestion

La nature des glucides de la ration modifie principalement l'équilibre des produits de la digestion dans le rumen, mais aussi dans l'intestin, certains amidons (maïs) pouvant échapper à la digestion microbienne et subir une digestion enzymatique dans l'intestin pour donner naissance à du glucose (THIVEND et MARTIN-ROSSET, 1972). La sécrétion des matières grasses et le taux butyreux du lait en particulier vont dépendre de l'équilibre entre les précurseurs lipogéniques (acides acétique, butyrique), et les produits favorisant la synthèse du glucose et la sécrétion d'insuline (acide propionique et glucose). Cet équilibre est principalement fonction du rapport entre les glucides pariétaux (ou cellulosiques) et les glucides cytoplasmiques, ou plus simplement du rapport Fourrage/Concentré ou de la teneur en cellulose brute de la ration.

1. Rapport Fourrage/Concentré

a) Résultats moyens

L'amplitude de variation du taux butyreux sous l'influence du rapport Fourrage/Concentré peut atteindre 20 g p. 1000 (fig. 2) soit 3 à 4 fois plus que le taux protéique qui varie généralement en sens inverse. Entre 0 et 40 p. 100 d'aliment concen-

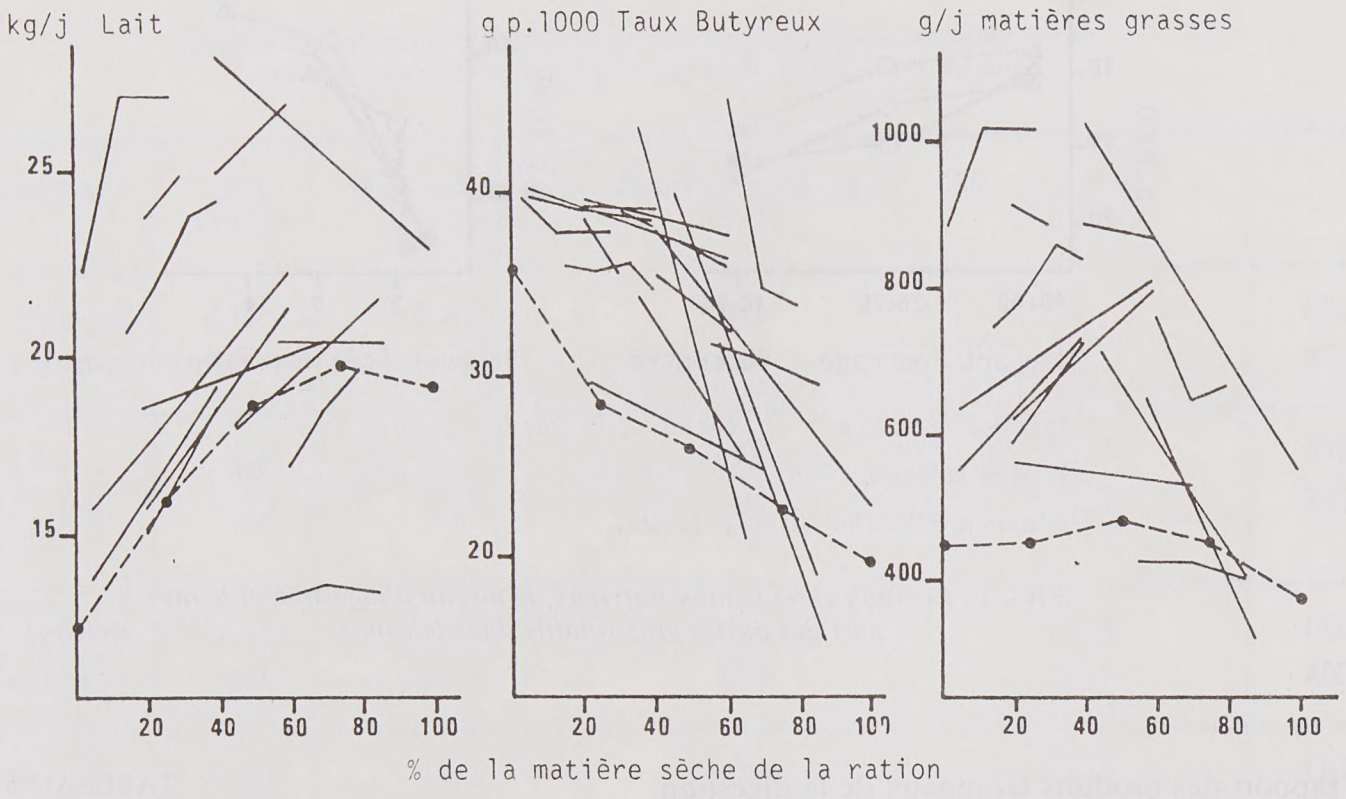


FIG. 2 : *Influence du pourcentage de concentré dans la ration sur la production de lait, le taux butyreux et la production de matières grasses (1)*

tré (p. 100 de la matière sèche) le taux butyreux change peu si l'on excepte les cas où la structure des fourrages a été profondément modifiée (broyage et granulation). Entre 40 et 65 p. 100, le taux butyreux diminue mais avec une amplitude très variable selon les essais ; au delà il peut atteindre des valeurs très faibles, inférieures à 20 g. p 1000. Les diminutions de taux butyreux avec le pourcentage croissant de concentré résultent en partie d'une hausse de la production laitière due au niveau plus élevé des apports énergétiques ; il en résulte que les quantités de matières grasses sécrétées sont généralement maximum pour une proportion de concentré comprise entre 30 et 50 p. 100 (fig. 2). La teneur en cellulose brute constitue un critère simple mais grossier de la fibrosité de la ration et sa liaison avec le taux butyreux n'est pas très étroite. Celui-ci diminue le plus souvent en dessous de 18 p. 100 de cellulose brute (p. 100 de la matière sèche) (fig. 3 et 6).

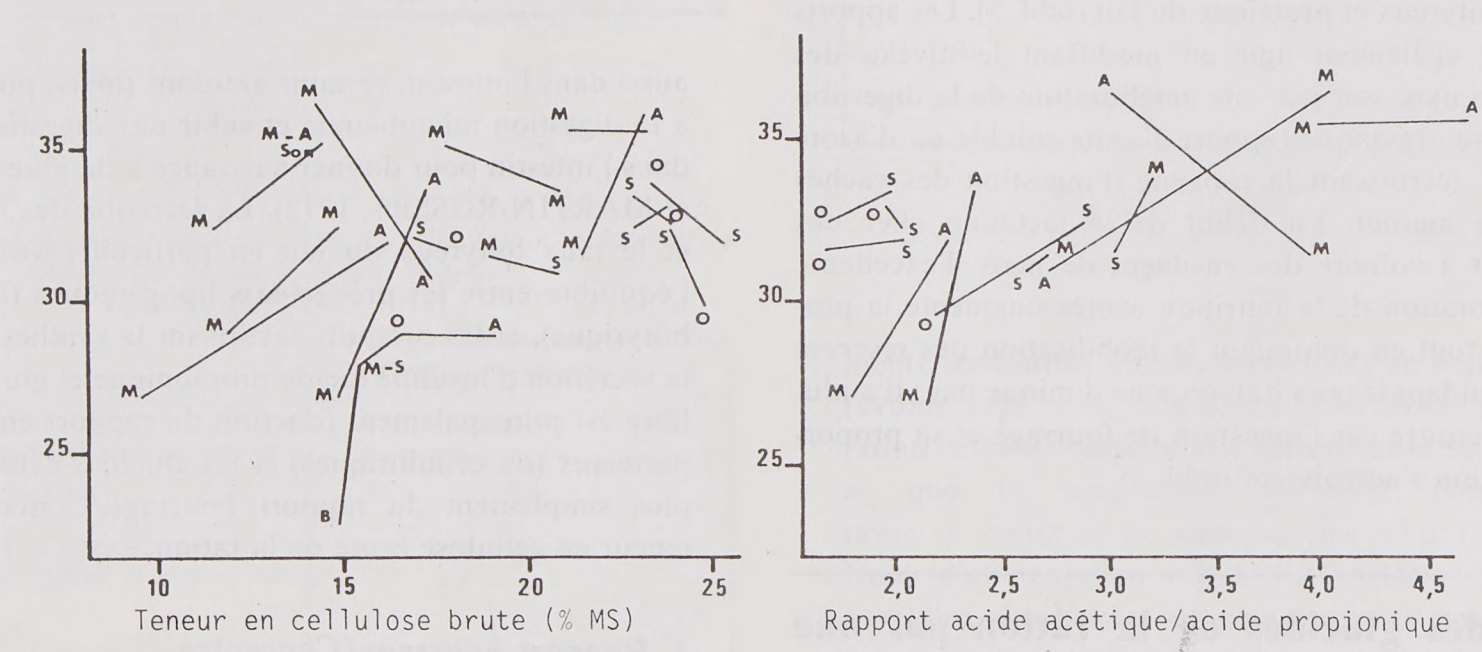
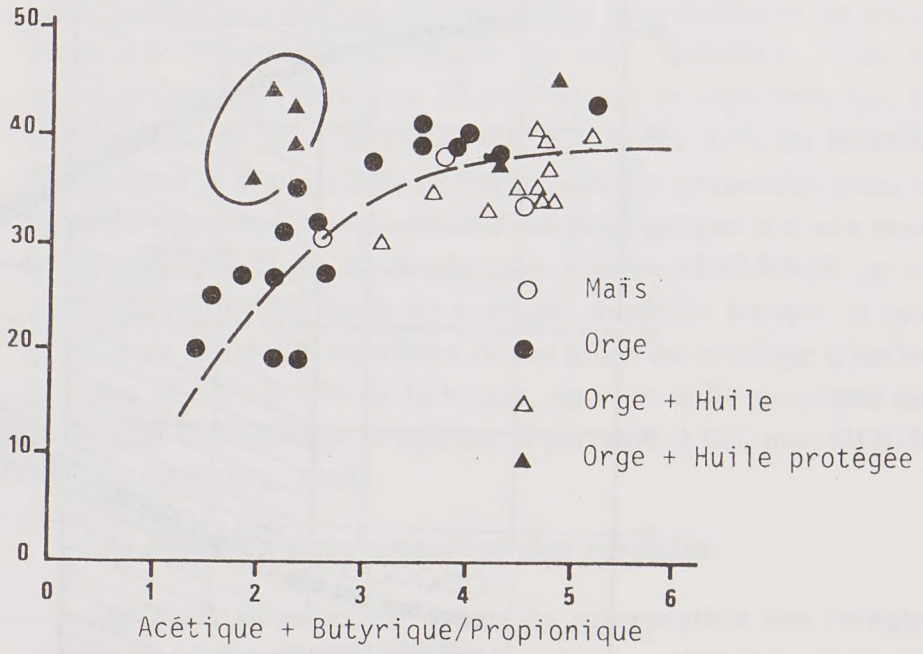


FIG. 3 : *Influence de la teneur en cellulose brute de la ration et du rapport molaire d'acide acétique/propionique dans le rumen sur le taux butyreux (g p. 1000) pour différents rapports fourrages/concentré et différentes natures de céréales (1)*

b) Mécanismes d'action

Plusieurs hypothèses ont été émises pour expliquer le syndrome de chute du taux butyreux (revues de DAVIES et BROWN, 1970 ; ANNISON, 1976 ; STORRY, 1976). Les connaissances acquises au cours des 10 dernières années (SUTTON, 1981) vont plutôt dans le sens de la théorie de Mc CLYMONT et VALLANCE (1962). Les rations pauvres en glucides pariétaux provoquent une modification du faciès microbien dans la panse consécutivement aux baisses du pH et du pouvoir tampon, dues à une production accrue d'acides gras volatils et à une baisse de la sécrétion salivaire, elle-même causée par une réduction des temps de mastification et de rumination. Il en résulte principalement une production accrue de propionate qui a pour principal effet d'accroître la glycémie et l'insulinémie, lesquelles peuvent également résulter d'une production accrue de glucose issu de l'amidon qui échappe à la digestion dans le rumen. Or le glucose, le propionate et l'insuline sont de puissants stimulants de l'activité lipogénique du tissu adipeux qui prélève à son profit l'acétate et le β-hydroxybutyrate, ainsi que les triglycérides, précurseurs respectivement des acides gras courts et des acides gras longs du lait, ce qui réduit leur disponibilité pour la mamelle (ANNISON *et al.*, 1974 ; RULQUIN, 1983). Inversement, les productions de lactose et de minéraux qui déterminent le volume du lait sécrété par voie osmotique, et la synthèse des protéines par la mamelle ne sont pas affectées ou augmentent, car les régimes riches en aliments concentrés accroissent la disponibilité en glucose et en acides aminés pour la mamelle. Les diminutions de taux butyreux résultent donc d'une baisse de la production de lipides par la mamelle et dans une moindre mesure d'une augmentation du volume du lait, et elles sont en rapport étroit avec les proportions relatives des trois principaux acides gras volatils dans le rumen : acétique (C2) + butyrique (C4)/priopionique (C3) (fig. 4). D'autres modifications d'importance plus réduite semblent aussi responsables des baisses de taux butyreux telles que la diminution du taux d'hormone de croissance (GH) (SUTTON, 1984) et la diminution de la lipomobilisation, notamment en début de lactation (YANG et BALDWIN, 1973).



(1) D'après OLDHAM et SUTTON, 1979.

FIG. 4 : *Relation entre le taux butyreux du lait et les proportions molaires d'acides gras volatils dans le rumen des vaches recevant des rations de foin et de concentrés (orge ou maïs) en rapport variable, et supplémentées ou non en lipides (1)*

c) Variations entre animaux et selon l'espèce, la race et le stade physiologique

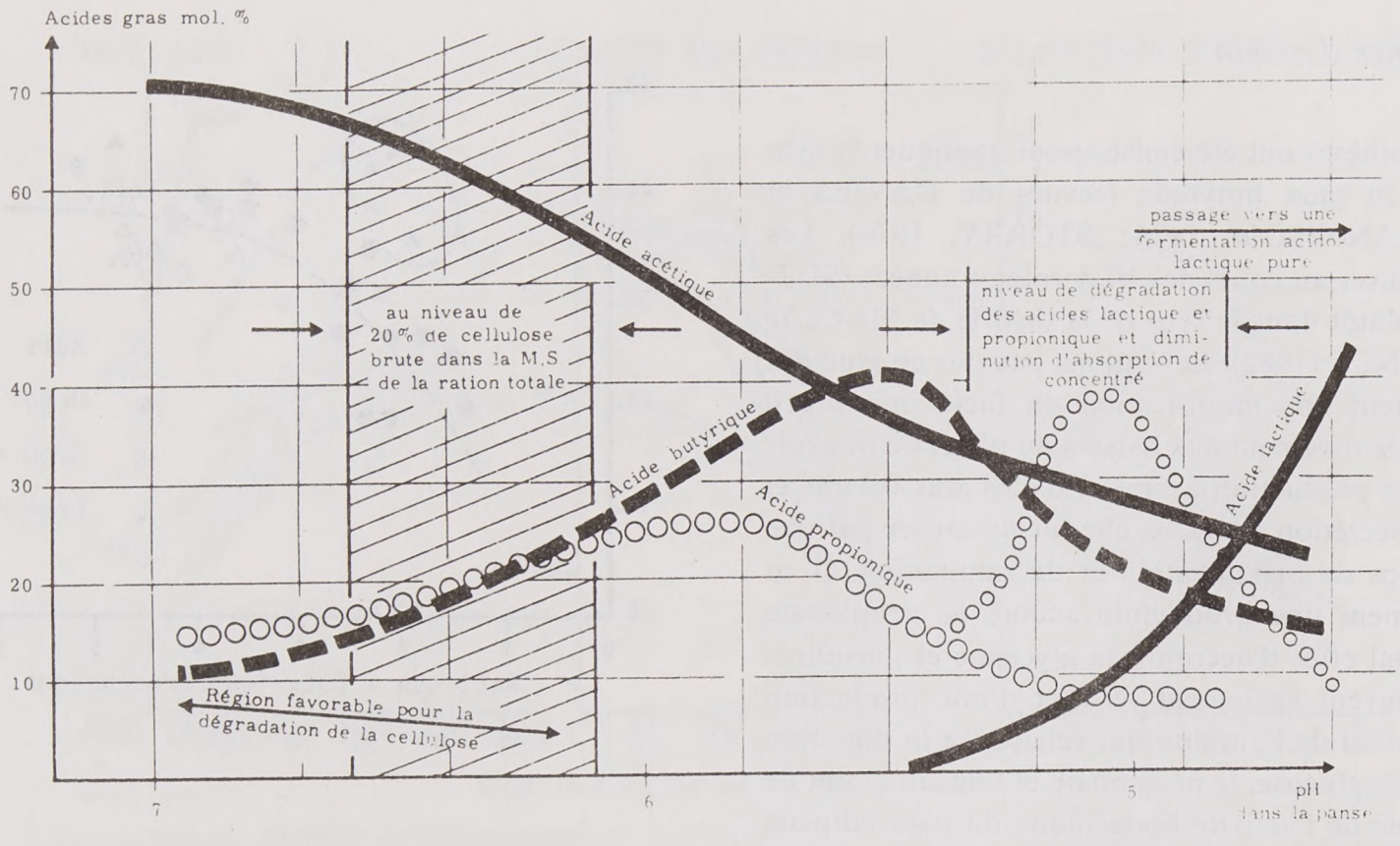
Avec les rations à proportion élevée de concentré, le taux butyreux diminue avec une amplitude très variable selon les animaux, consécutivement à des fermentations ruminales qui selon le pH s'orientent vers la formation soit d'acide propionique (pH < 5,5) soit d'acide butyrique (pH de 5,5 à 6) (REMOND, 1971) (fig. 5). La chute du taux butyreux semble plus faible chez les animaux de race à taux butyreux élevé, telle que la race JERSEY (JORGENSEN et SHULTZ, 1965 ; OPSVEDT et RONNING, 1967) ce qui demanderait à être confirmé en particulier entre les races Holstein et Normande. Une amplitude très importante du taux butyreux de 32,5 à 38,5 g p. 1000 (moyenne des 12 premières semaines de lactation) a été observée en race Holstein selon la nature de la ration (HODEN *et al.*, 1984). Les variations du taux butyreux sous l'effet du rapport Fourrage/Concentré s'observent quel que soit le stade de lactation bien que les mécanismes en cause semblent être différents en début et milieu de lactation. Elles s'observent également sur d'autres espèces que la vache laitière, chez la chèvre notamment (MBA *et al.*, 1975 ; MORAND-FEHR et SAUVANT, 1980 ; HADJIPANAYIOTUV, 1982).

2. Nature des glucides

Les évolutions différentes du taux butyreux avec le rapport Fourrage/Concentré (ou le taux de cellulose brute) viennent en grande partie d'un effet spécifique des glucides des fourrages ou des aliments concentrés sur les orientations fermentaires du rumen.

a) Nature des céréales et types d'amidon

Avec les rations riches en concentrés (55 à 70 p. 100) dans lesquelles le taux de cellulose brute varie de 9 à 17 p. 100, le taux butyreux est plus élevé avec les concentrés plus cellulosiques de type avoine par suite d'un rapport C2/C3 plus faible



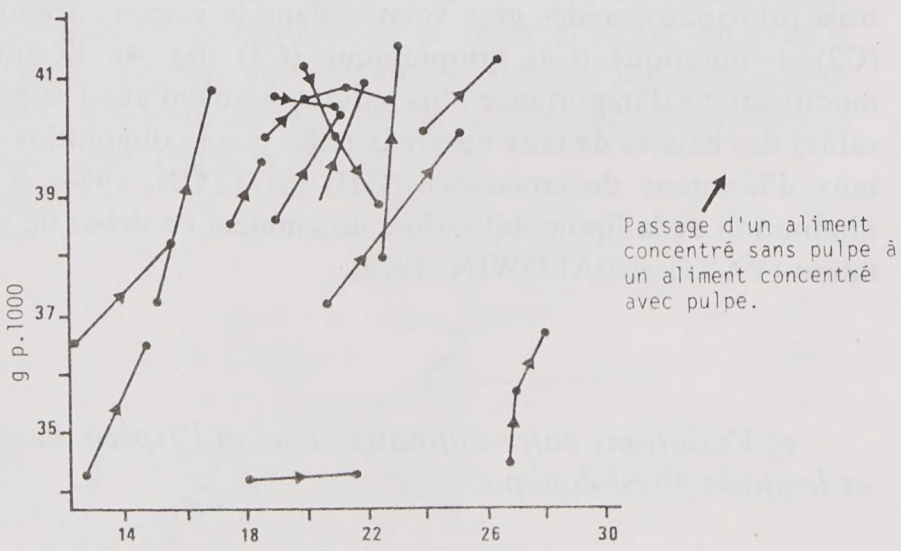
(1) D'après A. ORTH (1966).

FIG. 5 : *Schéma sur la fermentation des glucides dans la panse (1)*

dans le rumen (fig. 3) mais aussi peut-être d'une quantité d'amidon digérée dans l'intestin moins importante. Il semble cependant que pour des proportions excessivement élevées d'aliment concentré (90 p. 100) la baisse de taux butyreux soit plus importante avec la céréale (orge) qui accroit très fortement la production de C3 dans le rumen par rapport à celle (maïs) qui accroit surtout la quantité d'amidon digérée dans l'intestin et l'absorption de glucose (SUTTON *et al.*, 1980) (fig. 4). Pour des proportions plus faibles d'aliment concentré (35 p. 100) le taux butyreux ne semble pas influencé par la nature de la céréale (HODEN *et al.*, 1974).

b) Glucides pariétaux (cellulose, hemicellulose, substances pectiques)

Lorsque les pulpes remplacent dans une proportion importante (40 p. 100 ou plus) les céréales de la ration, le taux butyreux s'accroit dans la plupart des cas (de 1,4 g p. 1000 en moyenne dans 18 essais) où les fourrages étaient principalement à base de foin et d'ensilage d'herbe. Il semble qu'il s'agisse plus d'un effet spécifique de la nature des glucides des pulpes que de l'accroissement de la teneur en cellulose brute (fig. 6). Avec les rations à base d'ensilage de maïs qui occasionnent des taux butyreux plus élevés, l'apport de pulpes sèches ou surpressées en quantité importante n'accroit pas ou diminue le taux butyreux (cf. revue HODEN *et al.*, 1984). L'enrichissement en constituants pariétaux des concentrés peut être obtenu par l'introduction d'issues de meunerie. Ainsi dans 2 essais où les céréales, orge et maïs (1/1) ont été remplacées isoénergétiquement par du son de blé, ou par un mélange son de blé + pulpe, le taux butyreux s'est accru en même temps que la production laitière lorsque l'ensilage de maïs à teneur élevée en matière sèche était le seul fourrage de la ration (VERITE, 1983). Dans ce dernier cas, les proportions d'acides gras volatils dans le rumen ont été peu modifiées mais la quantité d'amidon ingérée dans l'intestin a été plus élevée avec le concentré à base de céréales (RULQUIN).



(1) Récapitualtif d'essais expérimentaux (FAVRE P., 1980)

FIG. 6 : *Influence sur le taux butyreux de l'introduction de pulpes de betteraves dans des rations à proportion élevée d'aliments concentrés (40 à 90 %)*

c) Glucides solubles : fructosanes de l'herbe, saccharose, lactose

Passé la période de transition du régime hivernal au pâturage (revue de HODEN *et al.*, 1984) l'herbe jeune de printemps riche en glucides solubles, principalement en fructosanes, peut occasionner des baisses de taux butyreux par suite d'une production accrue d'acide propionique dans le rumen. La richesse

plus grande en glucides solubles des ray-grass comparativement aux dactyles peut expliquer les différences de taux butyreux observées entre ces 2 espèces (JARRIGE et JOURNET, 1959 ; revue de HODEN *et al.*, 1984). D'autres glucides tels que le lactose et le saccharose, bien que très fermentescibles, n'ont pas le même effet dépressif sur le taux butyreux ; ils le maintiennent ou même l'accroissent lorsque les quantités distribuées ne sont pas excessives (moins de 20 à 30 p. 100 de la matière sèche de la ration) soit sous forme de lactosérum (REMOND *et al.*, 1978) de mélasse ou de betteraves (VERITE et JOURNET, 1973 ; revue de HODEN *et al.*, 1984). Cet effet favorable sur le taux butyreux est attribué à une production accrue d'acide butyrique (aux dépens de l'acide propionique), favorable à la synthèse d'acides gras courts par la mamelle (ROOK et BALCH, 1961). Cette orientation fermentaire est due à l'effet spécifique du lactose et du saccharose ainsi qu'au pouvoir tampon élevé du lactosérum et des betteraves. Mais pour des apports importants de ces aliments les taux butyreux élevés sont aussi la conséquence d'une baisse de la production laitière.

d) Les acides gras volatils préformés des ensilages issus de la fermentation des glucides

L'acide lactique, principal acide organique issu de la digestion des glucides est formé en quantité variable et souvent plus importante dans les ensilages de maïs que dans les ensilages d'herbe (DEMARQUILLY, 1978). Aux pH du rumen égaux ou inférieurs à 6 généralement rencontrés lorsque la proportion de céréales dans la ration n'est pas trop élevée, l'acide lactique est métabolisé principalement en acide butyrique ce qui explique en partie les taux butyreux plus élevés, avec les ensilages de maïs qu'avec les ensilages d'herbe (VERITE et JOURNET, 1971). On doit également l'attribuer à une production inférieure d'acide acétique qui comparativement à l'acide butyrique est plus favorable à l'accroissement de la quantité de lait qu'à celui du taux butyreux (ROOK et BALCH, 1961), ainsi qu'à un apport élevé d'acides gras longs par le maïs (VERITE, 1975). L'apport d'acide acétique par les ensilages d'herbe varie cependant de façon considérable selon la nature et la qualité des ensilages d'herbe (DEMARQUILLY, 1978) et l'effet de l'acide acétique (infusé dans le rumen ou ajouté à la ration) est plus important avec les rations à forte proportion d'aliment concentré (DAVIS et BROWN, 1970 ; MORAND-FEHR *et al.*, 1972).

3. Traitements technologiques des aliments

Les traitements technologiques des aliments peuvent agir de façon très importante sur le taux butyreux en modifiant la vitesse de fermentation des glucides, la salivation, les temps de mastication et de rumination. Les modifications qui en résultent ainsi que celles de la vitesse de transit des aliments peuvent changer les quantités produites et la composition du mélange des acides gras volatils dans la panse.

a) Broyage et agglomération des fourrages

Un broyage fin du fourrage provoque une diminution du taux butyreux d'autant plus accentuée que le foin broyé est associé à une proportion élevée d'aliment concentré et aggloméré (POWEL, 1939 ; RONNING, 1960, JOURNET et HODEN, 1968). Les études conduites sur des foins ou fourrages (ray-grass et luzerne) déshydratés et agglomérés avec ou sans broyage ont permis de déterminer les conditions de traitement qui minimisent la chute de taux butyreux. Avec un broyage grossier (grilles de 20 à 10 m/m) ou sans broyage, les diminutions de taux butyreux ont été faibles avec les luzernes (inférieures à 2 g p. 1000) et nulles avec les graminées mais en raison d'une production accrue d'acide butyrique et d'une mauvaise persistance de la production laitière (JARRIGE *et al.*, 1975). Les taux butyreux ne sont pas modifiés lorsque la proportion de fourrages normaux (foins longs ou ensilage d'herbe) dépasse 25 à 30 p. 100 de la ration, ou si la taille moyenne des particules du fourrage broyé est supérieure à 0,5 mm (JOURNET et HODEN, 1968).

b) Forme de présentation des céréales

Les deux principales formes de présentation des céréales sont la forme broyée et la forme broyée et agglomérée. Dans les rations où la proportion de concentré est supérieure ou égale à 50 p. 100, la forme broyée et agglomérée occasionne des diminutions de taux butyreux plus fortes (revues de REMOND, 1972) en raison principalement d'un échauffement et d'une modification de la structure de l'amidon lors du passage dans les filières, ce qui le rend plus fermentescible et accroît la production d'acide propionique ; ce phénomène est particulièrement observé avec le maïs où les baisses de taux butyreux par rapport à la forme broyée peuvent atteindre 5 à 10 g p. 1000.

La forme aplatie de présentation des céréales et l'association des céréales à d'autres concentrés cellulosiques, à des betteraves et à de la mélasse ont probablement permis d'éviter la baisse du taux butyreux jusqu'à des proportions d'aliment concentré de 50 p. 100 (WIKTORSON, 1971) et 60 p. 100 (OOSTERGAARD, 1978).

4. Correction des anomalies fermentaires

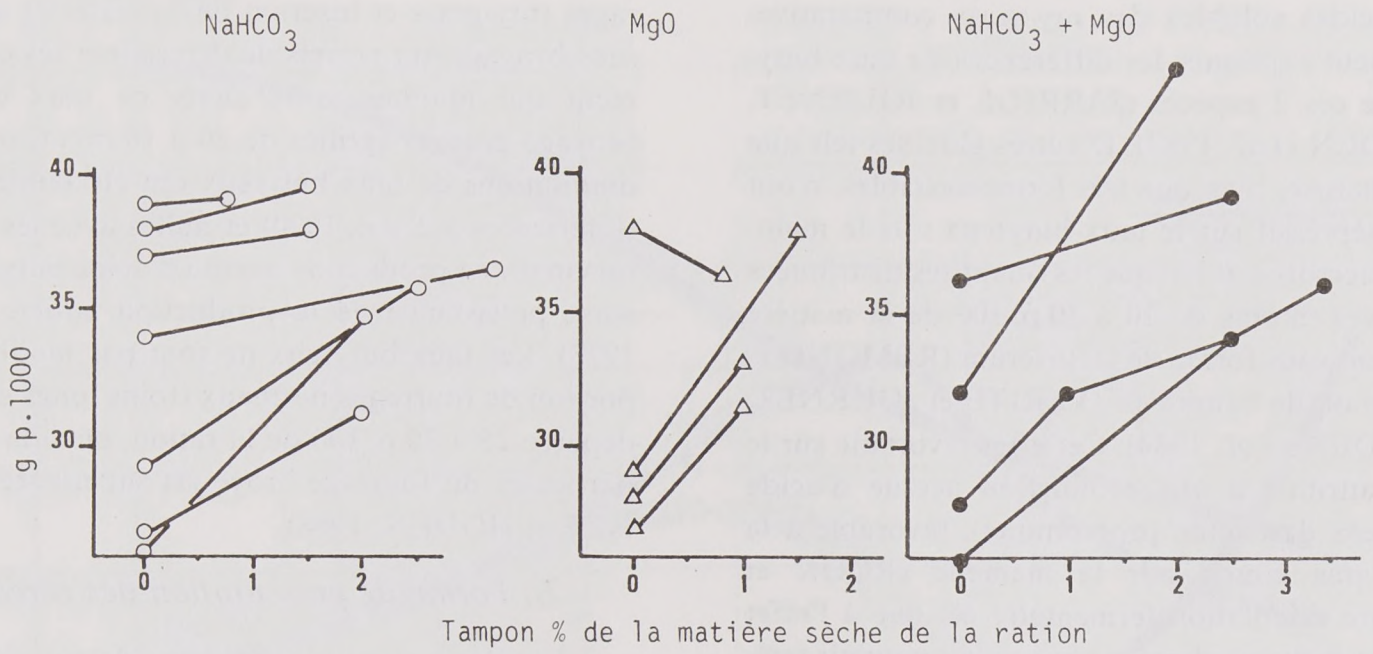
a) Mode de distribution des aliments

Le fractionnement des repas d'aliment concentré peut réduire jusqu'à plus de 10 points p. 1000 les chutes de taux butyreux lorsque sa proportion dans la ration est élevée (VAN SOEST, 1965 ; GIBSON, 1984 ; SUTTON *et al.*, 1982). Ce fractionnement régularise le pH dans le rumen (KAUFFMANN, 1976) et réduit le pic posprandial d'acide propionique ainsi que la sécrétion d'insuline (HART, 1983), ce qui permet d'expliquer l'effet sur le taux butyreux. Le mélange du fourrage et de l'aliment concentré dans une ration complète n'a pas modifié de façon notable le taux butyreux par rapport à une distribution séparée des deux aliments : que la distribution ait lieu à volonté (37,9 contre 38,2 g p. 1000 dans 10 comparaisons), ou en quantités limitées (38,1 contre 37,2 dans 4 comparaisons). Dans la plupart des comparaisons, le taux butyreux avait déjà un niveau assez élevé (HODEN et GIGER, 1984).

b) Additifs alimentaires

Il est possible de remédier aux baisses importantes du taux butyreux en modifiant :

- les fermentations dans le rumen par élévation du pH et du pouvoir tampon, le bicarbonate de sodium étant une des substances tampon les plus actives ;
- les équilibres métaboliques. L'oxyde de magnésium qui est l'additif le plus couramment utilisé pourrait par exemple



(1) Récapitualtif d'essais.

FIG. 7 : *Effet des substances tampons sur le taux butyreux du lait (1)*

entraîner un prélèvement plus important d'acides gras des lipoprotéines par la mamelle (EMERY *et al.*, 1965 ; BENSON *et al.*, 1972) peut-être en raison d'une diminution de l'insulinémie (LENTZ, 1976).

Le bicarbonate de sodium à la dose de 1,5 à 2 p. 100 de la matière sèche de la ration a un effet d'autant plus important que le taux butyreux initial est bas (fig. 8). La combinaison bicarbonate (1 à 1,5 p. 100) et oxyde de magnésium (1 p. 100) donne les meilleurs résultats (fig. 7). Lorsque le taux butyreux est normal l'addition de correctifs ne modifie pas le taux butyreux ; elle l'augmente parfois mais aux dépens de l'ingestion de matière sèche et de la production de lait qui diminuent.

III. Apport de lipides alimentaires précurseurs des acides gras longs du lait

1. Effets des lipides alimentaires

Avec les rations usuelles les acides gras longs d'origine alimentaire ne représentent que 8 à 12 p. 100 de l'énergie absorbée par le ruminant ; or leur valeur énergétique élevée explique l'intérêt qu'on leur porte pour accroître l'apport énergétique chez les vaches à haut niveau de production. Un récapitulatif (tabl. 6) de 72 essais de supplémentation en matière grasse montre un accroissement faible de la production de lait 4 p. 100 (2 p. 100 en moyenne, 49 réponses positives et 23 négatives) mais variable selon le type de matière grasse ou de ration. Les réponses sont dans l'ensemble positives avec les rations pauvres en lipides (2 à 3 p. 100 d'extrait éthéré) et elles s'annulent lorsque le taux d'incorporation de matières grasses dépasse 3 à 4 p. 100.

Le taux butyreux, si l'on excepte les diminutions importantes observées avec des huiles riches en acides gras polyinsaturés ayant plus de 20 atomes de carbone (type huile de foie de morue), varie également peu en moyenne et de façon variable selon le type de matière grasse et de ration. Ces faibles réponses de la production de lait et du taux butyreux sont la résultante de deux phénomènes principaux qui neutralisent l'effet positif de l'apport d'acides gras longs à la mamelle :

a) au niveau digestif les acides gras principalement les acides gras polyinsaturés C18 = 2 et C18 = 3 ont un effet dépressif sur les fermentations ruminales. Il en résulte une baisse de la digestibilité du reste de la ration et principalement des glucides pariétaux (PALMQUIST et JENKINS, 1980 ; SUTTON *et al.*, 1983 ; MURPHY et MORGAN, 1983), une baisse de la production d'acides gras volatils et une proportion accrue d'acide propionique aux dépens de l'acide acétique (SUTTON, 1979). Par ailleurs, la synthèse de lipides par la flore microbienne est diminuée, ce qui tempère l'augmentation des apports de lipides (STORRY, 1978 ; BAUCHART, 1981) ;

b) au niveau du métabolisme de la mamelle, la capacité de prélèvement des acides gras longs est progressivement saturée et le supplément d'acides gras prélevés exerce une inhibition sur la synthèse des acides gras courts et moyens (C10 à C16) (FAULKNER, 1981). L'importance de ces phénomènes varie cependant beaucoup selon la nature de la ration de base et des apports lipidiques.

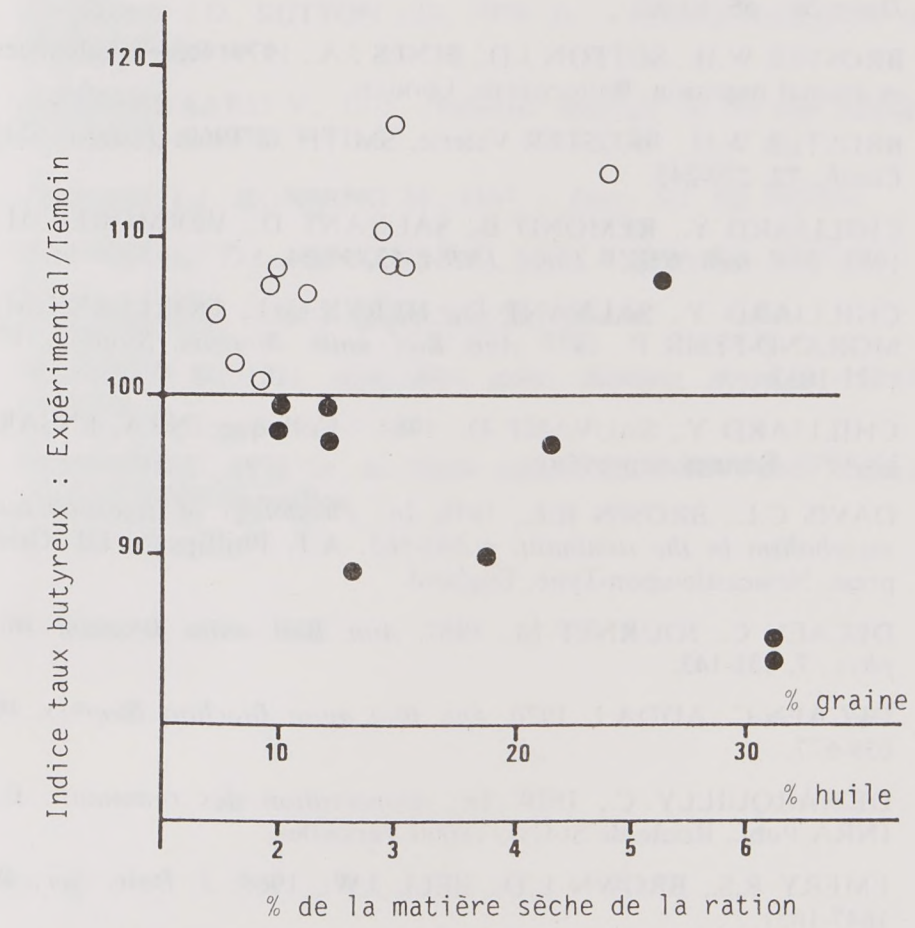
2. Apport d'acides gras saturés et insaturés

L'apport d'acides gras saturés en C16 et C18 accroît leur sécrétion dans le lait ainsi que celle de leurs isomères monoinsaturés du fait de leur désaturation par la mamelle. Celle-ci est moins importante pour le C16, ce qui conduit à une élévation du point de fusion et à des beurres durs (BANKS *et al.*, 1976). La sécrétion des acides gras courts et surtout moyens est diminuée, mais sans que les fermentations ruminales ne soient fortement modifiées. Les acides gras insaturés en C18 (C18 = 2 et C18 = 3) sont hydrogénés dans le rumen de sorte que leur sécrétion dans le lait augmente peu. Ils inhibent la synthèse des acides gras moyens (jusqu'à C16) par la mamelle, et par ailleurs ils perturbent les fermentations ruminales. Les effets inhibiteurs d'acides gras longs saturés sur les synthèses d'acides gras moyens sont moins importants avec les rations pauvres en lipides et riches en cellulose (FEHR *et al.*,

1972) ce qui peut expliquer les augmentations de taux butyreux observés avec des supplémentations en lipides de rations à base d'ensilage d'herbe + pulpe de betterave (DULPHY *et al.*, 1978) et au contraire des baisses de taux butyreux avec des rations à base d'ensilage de maïs déjà bien pourvues en lipides ainsi qu'en précurseurs digestifs (acide butyrique) des acides gras courts et moyens du lait (VERITE, 1975).

3. Effet de la nature des sources de lipides : suifs, graines, huiles

Les effets sur la production et la composition du lait sont différents selon la nature des sources de lipides apportés en compléments dans les rations. Le suif agit en général de façon favorable sur la production de lait en complément de rations pauvres en lipides du fait de sa richesse en acides gras saturés. Les graines oléagineuses ont généralement des effets positifs sur le taux butyreux et la production de lait 4 p. 100 et les huiles des effets négatifs (fig. 8, tabl. 6). En effet, celles-ci modifient davantage la digestion des constituants cellulosiques et les fermentations ruminales que les graines qui libèrent plus lentement les acides gras longs dans le rumen. Cette action favorable est plus marquée avec les graines de coton qui ont une teneur élevée en cellulose brute de 24 p. 100 au lieu de 6 p. 100 pour les graines de soja.



(1) Récapitulatif d'essais expérimentaux (SECHIER, 1983)

FIG. 8 : *Influence d'un apport d'huile ou de graine de coton sur le taux butyreux (1)*

TABLEAU 6

Réponses de la production laitière (lait 4%) à la supplémentation en lipides de la ration (1)

Source de lipides	Indice de lait 4 % (2)		Nombre d'essais	
	Moyen	Extrêmes	Réponses positives	Réponses négatives
Huiles.....	98	65 à 110	12	12
Graines.....	104	72 à 119	20	5
Suif.....	104	90 à 129	17	6

(1) Récapitulatif de 72 comparaisons
(2) (Lot expérimental/Lot témoin) X 100 (à même quantité de matière sèche).

4. Lipides protégés

Pour éviter de perturber l'activité microbienne, les chercheurs australiens ont mis au point une protection des lipides qui ne subissent plus de modifications au niveau du rumen (hydrolyse, hydrogénation, isomérisation) et n'ont plus d'effet néfaste sur la digestion, en particulier des constituants pariétaux. Les lipides arrivent ainsi théoriquement intacts dans l'intestin grêle où ils sont normalement digérés et absorbés (SCOTT et COOK, 1975 ; FOGERTY et JOHNSON, 1980). Cependant le taux de protection de ces lipides est très variable (STORRY *et al.*, 1980 ; MURPHY et MORGAN, 1983) et les techniques de routine pour l'apprécier, *in vitro* et *in vivo*, ne sont encore pas au point.

Avec ce type de produit, il est possible de faire ingérer ou digérer de grandes quantités de lipides aux ruminants (jusqu'à 15 p. 100 de lipides dans la ration). Il s'ensuit de très fortes augmentations des entrées et des taux circulants de triglycérides (YANG *et al.*, 1978 ; STORRY *et al.*, 1980). L'augmentation de leur prélèvement mammaire excède alors largement la réduction de la synthèse *de novo* d'acides gras et il en résulte des accroissements souvent importants de la sécrétion de matières grasses et du taux butyreux du lait (tabl. 7). La production laitière varie peu ou tend à augmenter, surtout chez les vaches fortes productrices en début de lactation qui sont en déficit énergétique (YANG *et al.*, 1978 ; KRONFELD *et al.*, 1980). Cet effet résulte probablement, outre la possible réduction du déficit énergétique global des animaux, d'un effet d'épargne des acides gras longs sur le glucose (fourniture de NADPH), puisque celui-ci sera moins utilisé pour la synthèse d'acides gras et éventuellement plus disponible pour la synthèse du lactose. Il résulte aussi une meilleure efficacité énergétique de la lipogénèse à partir des acides gras longs que de l'acétate.

Les réponses de la production laitière et de l'efficacité énergétique tendent toutefois à être curvilinéaires, passant par un maximum lorsque la quantité de lipides protégés représente environ 15 p. 100 de l'apport énergétique (STORRY *et al.*, 1980 ; KRONFELD *et al.*, 1980).

D'un point de vue qualitatif, les lipides protégés permettent de modifier très largement la composition en acides gras des lipides du lait puisque celle-ci est alors directement influencée par la composition de l'huile ou de la graisse administrée. Cette possibilité a été utilisée pour produire des laits riches en acides gras polyinsaturés, contenant plus de 30 p. 100 de 18 : 2 et/ou de 18 : 3, revue de FOGERTY et JOHNSON, 1980). Ces

acides gras essentiels sont suceptibles d'intéresser les diététiciens... mais aussi de poser des problèmes économiques liés au coût de fabrication des lipides protégés, et technologiques liés à leur point de fusion très bas et à la tendance à l'oxydation des acides gras polyinsaturés (revue de FERRANDO, 1977) donc au risque d'une mauvaise conservation des produits si l'on n'ajoute pas des antioxydants. Dans le cas où la protection des lipides est incomplète, les effets dépressifs des acides gras insaturés sur les fermentations ruminales peuvent de plus entraîner une forte baisse de production des acides gras courts (STORRY *et al.*, 1980).

TABLEAU 7

Influence d'huiles végétales protégées sur la sécrétion lipidique mammaire chez la vache
(d'après YANG *et al.*, 1978 a et b)

	Avant supplémentation (1)	Après supplémentation (2)
Lait (kg/j).....	28,9	27,9
Matières grasses (g)....	974	1171
Taux butyreux (g p.1000)	33,7	42,0
Acides gras (g/j)		
C4.....	40	45
C6.....	24	21
C8 à C14.....	178	48
C16.....	290	157
C16:1.....	35	14
C18.....	85	194
C18:1.....	264	324
C18:2.....	46	302
C18:3.....	13	22
C18:1 /C18.....	3,1	1,7
C16:1 /C16.....	0,12	0,09

(1) 4ème semaine de lactation.
(2) 12ème semaine de lactation - supplément de graines de soja et de tournesol formolées (69 % de C18:2 et 16 % de C18:1) distribué depuis la 5ème semaine de lactation, à un taux de 35 % de la ration depuis la 8ème semaine de lactation.

Conclusion

D'après l'origine même des matières grasses du lait il apparait possible de modifier les quantités sécrétées et leur taux en modifiant soit les précurseurs digestifs des acides gras courts et moyens, soit les acides gras longs d'origine corporelle ou alimentaire.

La synthèse des acides gras courts et moyens du lait est accrue :

a) en augmentant les précurseurs directs, acide acétique et surtout acide butyrique ; ce qui peut être obtenu par une bonne régulation du pH du rumen et la fourniture de certains glucides pariétaux ou des glucides spécifiques : saccharose, lactose... ;

b) en diminuant la production d'acide propionique dans le rumen et de glucose dans l'intestin (régimes sans excès de céréales) qui a pour effet indirect d'accroître la disponibilité en précurseurs des acides gras courts (acide acétique) ainsi d'ailleurs que celles en acides gras longs circulants.

La sécrétion des acides gras longs par la mamelle ne peut guère être accrue en faisant trop appel aux réserves lipidiques corporelles. Elle ne peut l'être que par l'alimentation. Ces possibilités étaient jusqu'ici limitées en raison des perturbations digestives provoquées par des apports trop élevés de lipides ; mais des procédés industriels et technologiques nouveaux paraissent pouvoir y pallier à l'avenir, si le besoin s'en faisait sentir et s'ils s'avéraient intéressant économiquement. Ces procédés ont cependant des répercussions beaucoup plus importantes sur la qualité de la matière grasse que sur sa teneur.

Le zootechnicien dispose donc bien de moyens pour enrichir le lait en matières grasses, mais d'amplitude limitée et cette modification ne doit pas se faire au détriment de la santé, de la reproduction... des animaux et au détriment d'autres constituants telles que les protéines dont le taux varie souvent en sens inverse sous l'effet de l'alimentation (REMOND, 1984). En outre, la modification de la richesse des laits doit présenter un intérêt économique pour l'éleveur ; or elle ne joue pas souvent un rôle déterminant dans le choix des systèmes fourragers et du niveau de complémentation des animaux. Seule la nature de la complémentation peut constituer un moyen d'action qui pourrait être plus facilement mis en œuvre si le système de paiement du lait le favorisait.

Références bibliographiques

ANNISON E.F., BICKERSTAFFE R., LINZELL J.L., 1974. *J. agric. Sci. Camb.*, **82,** 87-95.

ANNISON E.F., 1976. In : *Principles of cattle production* (ed. H. SWAN and W.H. BROSTER), p. 169-199. Butterworth, London.

BANKS. W., CLAPPERTON J.L., KELLY M.E., 1976. *J. Dairy Res.*, **43,** 219-227.

BAUCHART D., 1981. *Bull. tech. CRZV Theix, INRA*, **46,** 45-55.

BENSON J.D., ASKEW E.W., EMERY R.S., THOMAS J.W., 1972. *J. Dairy Sci.*, **55,** 83-92.

BROSTER W.H., SUTTON J.D., BINES J.A., 1979. Recent advances in animal nutrition. Butterworth, London.

BROSTER W.H., BROSTER Valerie, SMITH J., 1969. *J. agric. Sci., Camb.*, **72,** 229-245.

CHILLIARD Y., REMOND B., SAUVANT D., VERMOREL M., 1983. *Bull. tech. CRZV Theix, INRA*, **53,** 37-64.

CHILLIARD Y., SAUVANT D., HERVIEU J., DORLEANS M., MORAND-FEHR P., 1977. *Ann. Biol. anim. Biochim. Biophys.*, **17,** 1021-1033.

CHILLIARD Y., SAUVANT D., 1984 - Colloque INRA, ENSAR, INAPG, Rennes, septembre.

DAVIS C.L., BROWN R.E., 1970. In : *Physiology of digestion and metabolism in the ruminant*, p. 545-565. A.T. Phillipson, Ed. Oriel press, Newcastle-upon-Tyne, England.

DECAEN C., JOURNET M., 1967. *Ann. Biol. anim. Biochim. Biophys.*, **7,** 131-143.

DECAEN C., ADDA J., 1970. *Ann. Biol. anim. Biochim. Biophys.*, **10,** 659-677.

DEMARQUILLY C., 1978. In : *Alimentation des ruminants.* Ed. INRA Publ., Route de St-Cyr, 78000 Versailles.

EMERY R.S., BROWN L.D., BELL J.W., 1965. *J. Dairy Sci.*, **48,** 1647-1651.

FARRIES V.E., 1982. *Züchtungskunde*, **54,** 25-33.

FAULKNER Anne, 1981 - Rep. Hannah Res. Inst., 1980 - p. 77-82.

FEHR P.M., SAUVANT D., DELAGE J., 1972. *Ann. Biol. anim. Biochim. Biophys.*, **12,** 289-306.

FOGERTY A.C., JOHNSON A.R., 1980. Fédération internationale de Laiterie, document 125.

HADJIPANAYIOTOU M., 1981. *J. Dairy Sci.*, **65,** 59-64.

HANSSON A., CLAESSON O., BRANNANG E., 1954. *Acta Agric. Scand.*, 4-85.

HODEN A., COULON J.B., DULPHY J.P., QUILLET J.P., 1984. Colloque INRA, ENSAR, INAPG, Rennes, septembre 1984.

HODEN A., GIGER S., 1984. *Bull. tech. CRZV Theix, INRA*, **57,** 45-50.

HODEN A., REMOND B., JOURNET M., 1974 - *Bull. tech. CRZV Theix, INRA*, **16,** 17-25.

JARRIGE R., JOURNET M., 1959. *Ann. Nutr. Aliment.*, **13A,** 233-278.

JARRIGE R., DEMARQUILLY C., JOURNET M., BERANGER C., 1975. *1est International Green Crop Drying Congress.*

JORGENSEN N.A., SCHULTZ L.H., 1965. *J. Dairy Sci.*, **48,** 1040-1045.

JOURNET M., HODEN A., 1968. *Fourrages*, **36,** 62-82.

JOURNET M., REMOND B., 1978. *IXe Journées du «Grenier de Theix»*, 121-142.

KAUFMANN W., 1976. *Livest. Prod. Sci.*, **3,** 103-114.

KRONFELD D.S., DONOGHUES S., NAYLOR J.M., JOHNSON K., BRADELY A., 1980. *J. Dairy Sci.*, **63,** 545-552.

LENTZ D.E., MADSEN F.C., MILLER J.K., HANSARD S.L., 1976. *J. anim. Sci.*, **42,** 244.

Mc CLYMONT G.L., VALLANCE S., 1962. *Proc. Nutr. Soc.*, **21,** XLI-XLII.

MBA A.U., BOYS B.S., OYENUGA V.A., 1975. *J. Dairy Res.*, **42,** 217-226.

MORAND-FEHR P., SAUVANT D., 1980. *J. Dairy Sci.*, **63,** 1671-1680.

MURPHY J.J., MORGAN D.J., 1983. *Anim. Prod.*, **37,** 203-210.

OLDHAM J.D., SUTTON J.D., 1979. In : « *Feeding strategy for the high yielding cow*».

OOSTERGAARD V., 1978. National Institute of Animal Science, Copenhagen, 1978.

OPSTVEDT J., RONNING M., 1967. *J. Dairy Sci.*, **50,** 345-354.

PALMQUIST D.L., JENKINS T.C., 1980. *J. Dairy Sci.*, **63,** 1-14.

POWELL E.B., 1939. *J. Dairy Sci.*, **22,** 453-454.

REMOND B., 1971. *Ann. Biol. anim. Biochim. Biophys.*, **11,** (2), 294-296.

REMOND B., 1972. In : *La Vache laitière*, Ed. INRA Publ., Route de St-Cyr, 78000 Versailles.

REMOND B., MARQUIS B., HODEN A., JOURNET M., 1978. *Bull. tech. CRZV Theix, INRA*, **33,** 53-59.

RONNING M., 1960. *J. Dairy Sci.*, **43,** 811-815.

ROOK. J.A.F., BALCH C.C., 1961. *Br. J. Nutr.*, **15,** 361-369.

RULQUIN H., 1982. *Reprod. Nutr. Dev.*, **22,** 905-921.

RULQUIN H., 1983. *IVe Journées «Grenier de Theix»*, Etude SEI, **53,** 139-156.

SAUVANT D., CHILLIARD Y., MORAND-FEHR P., 1984. *Int. Sheep and Goat Res.* (in press).

SCOTT T.W., COOK L.J., 1975. In : Mc Donald I.W. et Warner M.C.I., University of New-England, Publ. Univ.

STOBBS T.H., BRETT D.J., 1974. *Austr. J. agric. Res.*, **25,** 657-666.

STORRY J.E., 1978. *XXe Int. Dairy Congress*, Paris, 1978.

STORRY J.E., BRUMBY P.E., TUCKLEY B., WELCH A., STEAD D., FULFORD ROSEMARY J., 1980. *J. agric. Sci. Camb.*, **94,** 503-516.

SUTTON J.D., 1979. *Proc. 5th Int. Symp. on Ruminant Physiology*, Clermont-Ferrand, 3-7 Sept. 1979.

SUTTON J.D., OLDHAM J.D., HART P.C., 1980. *Proc. 8th Symp. on energy metabolism* held at Churchill College, Cambridge, Sept. 1979.

SUTTON J.D., 1981. *Rec. Adv. Anim. Nutr.*, Buterworth London.

SUTTON J.D., HART I.C., BROSTER W.H., 1982. EAAP Pub. nº 29. Energy metabolism of farm animals, 1982. Ed. A. Ekern et F. Sundstol.

SUTTON J.D., KNIGHT R., Mc ALLAN A.B., SMITH R.H., 1983. *Br. J. Nutr.*, **49,** 419-432.

THIVEND P., MARTIN-ROSSET W., 1972. *IVe Journées «Grenier Theix»*, 12-13-14 janvier 1972.

VAN SOEST P.J., 1963. *J. Dairy Sci.*, **46,** 294-216.

VERITE R., 1974. *Bull. tech. CRZV Theix, INRA*, **15,** 15-20.

VERITE R., JOURNET M., 1973. *Ann. Zootech.* **22,** 219-235.

VERITE R., JOURNET M., 1971. *Ann. Zootech.*, **20,** 153-167.

VERITE R., 1975. *Bull. tech. CRZV Theix, INRA*, **24,** 373-390.

VERITE R., 1983. *Journées CAAA*, octobre 1983.

YANG Y.T., BALDWIN R.L., 1973. *J. Dairy Sci.*, **56,** 366-374.

YANG Y.T., BALDWIN R.L., RUSSEL J., 1978. *J. Dairy Sci.*, **61,** 180-188.

YANG Y.T., ROHDE J.M., BALDWIN R.L., 1978. *J. Dairy Sci.*, **61,** 1400-1406.

WIKTORSSON H., 1971. *Swed. J. agric. Res.*, **1,** 83-103.

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1985 (60) 25-30

Détermination rapide de la composition de la viande (eau, lipides, protéines) par spectrophotométrie dans le proche infrarouge

M. BONNET et J. KOPP

Station de Recherches sur la Viande

L'application de la spectrophotométrie dans le proche infrarouge (NIR) au dosage des constituants biologiques s'est largement développée au cours des dernières années. L'adjonction d'une sphère intégratrice aux appareils de la nouvelle génération a permis de passer de l'analyse par transmission (3, 6, 7) à la mesure par réflexion (4, 12-16) et a ainsi simplifié le problème de l'échantillonnage en particulier pour les solides et semi-solides.

Différents laboratoires européens et américains ont déjà réalisé et publié des essais sur ce type d'appareil pour la détermination de l'eau (2, 11, 12, 14-16), des lipides (2, 4, 11, 12, 14-16) et des protéines totales (2, 11, 12, 14-16) dans les produits carnés (voir la revue 18). Ces essais sont dans l'ensemble assez concluants en particulier pour l'eau et les lipides. Il faut cependant remarquer que les domaines de teneurs en lipides explorés concernent plus particulièrement les produits transformés de type pâtes fines pour lesquels les lipides se situent au-delà de 10-20 p. 100, ce type de contrôle intéressant les industriels pour un suivi de la chaîne de fabrication.

Pour notre part, nous avons également envisagé l'utilisation de cette méthode d'analyse sur des muscles frais ou lyophilisés, ce type d'application n'ayant pas été abordé de manière approfondie jusqu'ici.

I. Matériel et méthodes

1. Principe de la méthode

La spectroscopie dans le proche infrarouge couvre le domaine du spectre électromagnétique compris entre 0,78 et 3 µm. Dans cette gamme il est possible de quantifier les transitions électroniques de faible énergie, leurs harmoniques et les combinaisons des vibrations d'élongation et de déformation des liaisons du proton dans les groupements C-H, N-H et O-H. Cette technique permet ainsi de déterminer quantitativement les divers groupes chimiques protonés, sans qu'il soit nécessaire de caractériser complètement la structure.

Pratiquement le dosage des constituants repose sur une calibration du spectrophotomètre réalisée sur une gamme d'échantillons la plus large possible et couvrant l'ensemble du domaine expérimental (17). Pour cette gamme les constituants à déterminer sont dosés par les méthodes de référence utilisées pour les dosages classiques (le plus souvent manuels). Parallèlement les réflectances IR aux différentes longueurs d'ondes disponibles sur l'appareil sont enregistrées par le calculateur associé au spectrophotomètre. La meilleure régression linéaire multiple entre les concentrations obtenues par dosage classique pour chaque constituant (variable explicative) et les réflectances aux différentes longueurs d'onde (variables expliquées) est déterminée à l'aide du logiciel fourni.

L'analyse de la régression est faite par voie descendante pour ne retenir que les filtres les plus discriminants pour chaque constituant (eau, lipides, protéines) et les constantes de la régression finale sont mémorisées pour servir, en routine, à déterminer les concentrations des constituants à partir des données de réflectance :

$$\text{constituant p. 100} = F_0 + F_1 \times \log R_1 + \ldots\ldots + F_n \times \log R_n$$

où F_0 = constante de biais
F_n = constante de régression pour le filtre n retenu
R_n = réflectance pour le filtre n (n = 1 à 19)

La réalisation des gammes étalons revêt ici une importance toute particulière (standardisation du mode de préparation, représentativité des prises d'essais par rapport aux échantillons à analyser). Il faut, dans la première étape de calibration, réaliser autant d'étalonnages qu'il y a de constituants à déterminer étant bien entendu que le dosage par IR n'est réellement possible que si la relation entre les données de réflectance et la quantité du constituant à doser, appréciée par le coefficient de régression multiple, est suffisamment étroite.

2. Étalonnages réalisés

Cette étude a été réalisée avec le spectrophotomètre Technicon InfraAlyzer 400 disposant de 19 filtres interférentiels entre 1,4 et 2,6 µm. Pour couvrir les différents besoins au niveau de la Station dans le domaine de l'analyse rapide non destructive de la composition des viandes nous avons réalisé les étalonnages sur trois types de produits :

- *des muscles frais de bovins et de porcs* pour la détermination des teneurs en lipides, eau, protéines et collagène ;
- *des muscles lyophilisés de bovins et de porcs* pour la détermination de la teneur en collagène. Il est en effet courant au laboratoire d'aller jusqu'au stade de l'échantillon lyophilisé (conservation plus aisée, possibilité de différer les analyses...), nous avons donc envisagé la possibilité de réaliser les dosages par spectrométrie infrarouge sur ce type d'échantillons de muscles, sachant qu'à ce jour aucun essai n'a, semble-t-il, été fait dans ce sens pour la viande ;
- *des produits crus et cuits de charcuterie (pâtes fines)* pour les dosages de l'eau et des lipides. Ce type d'étalonnage doit répondre essentiellement aux besoins des industries de transformation de produits carnés et des laboratoires de contrôle.

3. Réalisation des gammes étalons

- *Sur muscles frais*

Le même mode opératoire a été appliqué aux muscles de bovins et aux muscles de porcs. Pour chaque espèce, un stock de muscles à faible teneur en lipides (environ 1 p. 100 du frais) a été constitué. Après mélange au cutter à + 10 °C, on a procédé, sur des fractions de 500 g, à des ajouts de lipides provenant respectivement de gras périrénaux de vache de réforme et de saindoux. La gamme a été établie ainsi pour des teneurs en gras comprises entre 1 et 10-12 p. 100.

Après leur préparation, les échantillons de gamme ont été utilisés pendant une semaine pour les mesures IR, ils ont été stockés à + 4 °C, sous sachet plastique clos, et les dosages classiques ont été effectués selon les méthodes décrites ci-dessous.

- *Sur muscles lyophilisés*

muscles de bovins : des échantillons de 10 muscles lyophilisés provenant de 10 bovins d'âges très variés (taurillons de 13 mois à vaches de réforme de 8 ans) ont été utilisés dans ces essais. Les muscles broyés au robot-coupe puis lyophilisés et broyés au broyeur à billes (Dangoumeau) étaient conservés en sachet clos à température ambiante pendant un délai maximum de 6 mois ;

muscles de porcs : la gamme a été constituée à partir de muscles long-dorsaux de porcs expérimentaux sur lesquels les dosages classiques avaient été effectués.

- *Sur pâtes fines crues et cuites*

Des émulsions ont été fabriquées (dans un robot-coupe R4), avec un taux de maigre de porc fixe de 32 p. 100, un taux de glace de 30 p. 100, la teneur en lipides de l'émulsion variant de 26 à 38 p. 100 (par incrément de 2 p. 100).

Parallèlement, une partie de ces émulsions a été cuite pendant 30 mn à 120 °C dans des boîtes de 1/6 serties. Après cuisson, le produit est paré et broyé pour obtenir une structure fine et homogène. Huit produits commerciaux du type charcuterie cuite ont également été incorporés dans cette gamme.

4. Méthodes classiques de référence utilisées

Les matières sèches ont été déterminées après passage à l'étuve à 106 °C pendant 76 h, sur 3 aliquotes de 5 g de muscle frais ou de pâtes fines.

Les lipides ont été dosés sur les différents produits analysés suivant une des trois méthodes classiquement utilisées :

- méthode réfractométrique selon Arneth (1) : mesure de l'indice de réfraction du solvant des lipides, sur 3 aliquotes de 20 g par point pour les muscles frais broyés ;
- méthode par extraction aux solvants à l'aide d'un Soxhlet (19) : les lipides extraits, sont pesés. Cette méthode a été utilisée pour les gammes de pâtes fines ;
- méthode de référence de Folch *et al.* (10), il s'agit d'une méthode longue mais très précise par extraction totale aux solvants et pesée. Elle a été utilisée pour les gammes étalons de muscles frais de bovins et de porcs.

Pour *le collagène,* la teneur en hydroxyproline a été déterminée, sur muscles frais et lyophilisés, selon la méthode (5) adaptée à l'autoanalyseur (8). La teneur en collagène est exprimée par [hydroxyproline] × 7,5.

Les protéines totales : la teneur en protéines brutes a été déterminée sur 3 aliquotes de 500 mg par échantillon (minéralisation micro-Kjeldahl) et dosage de l'azote à l'autoanalyseur par la méthode adaptée de Ferrari (9). Les protéines totales sont exprimées par [N] × 6,25.

5. Réalisation des mesures de réflectance

Pour chacun des points de la gamme expérimentale des muscles frais et des pâtes fines trois mesures de réflectance aux 19 longueurs d'onde sont faites en *coupelles ouvertes* sur des prises d'échantillon différentes (environ 4 g/mesure). Le calcul des régressions est effectué sur les logarithmes des réflectances enregistrés. Les filtres à retenir pour chaque constituant ayant été sélectionnés, les coefficients (F_1) qui doivent leur être affectés sont mémorisés dans l'analyseur.

Pour les muscles lyophilisés, après contrôle de la matière sèche, 3 mesures de réflectance aux 19 longeurs d'onde ont été réalisées sur des prises différentes dans *la cellule fermée.* L'analyse a été faite sur la moyenne des trois réflectances par filtre.

II. Résultats des étalonnages

1. Analyses sur muscles frais

Les tableaux 1 et 2 rapportent les caractéristiques des échantillons utilisés et des régressions calculées respectivement pour les étalonnages de muscles de bovins et de porcs. Les meilleures régressions sont obtenues dans les deux cas pour les lipides totaux, malgré la gamme relativement restreinte de concentrations en lipides utilisée, en particulier pour les échantillons de viande bovine. L'écart-type moyen affecté à la détermination spectrométrique (0,18 p. 100 et 0,29 p. 100 respectivement pour le bovin et le porc) doit permettre une évaluation satisfaisante pour des mesures de routine.

TABLEAU 1

Etalonnages réalisés à partir de muscles de bovins frais.
r : coefficient de régression multiple,
F : test de Fisher de signification de r,
∂: écart-type résiduel de la valeur de la mesure IR.

	eau %	lipides %	protéines %
gamme étalon	65.8 à 76.6	1 à 15	18,8 à 20,0
nb d'échantillon	233	263	84
nb de filtres	8	4	4
r	0,998	0,999	0,973
F	4165	12664	4526
∂	0,19	0,17	0,08

TABLEAU 2

Etalonnages réalisés à partir de muscles de porcs frais.

	eau %	Lipides %	N % MS	hypro mg/g muscle frais
gamme étal.	65 à 74	4 à 37	9,9 à 14,99	0,59 à 1,15
nb échant.	104	45	104	104
nb filtres	4	4	4	8
r	0,996	0,999	0,995	0,934
F	1667	7137	1141	39
∂	0,21	0,29	0,16	0,05

La teneur en eau peut être déterminée avec une précision satisfaisante, légèrement inférieure à celle des lipides. Au plan des protéines totales dont la gamme de variation est très faible dans les muscles, l'exploitation de la régression, encore hautement significative, n'est vraisemblablement pas justifiée pour ce type d'échantillons. Des résultats analogues ont été obtenus pour la viande de porc lorsque les protéines sont rapportées à la matière fraîche.

En exprimant l'azote non plus par rapport au frais, mais par rapport à la matière sèche, nous avons mis en évidence une relation plus intéressante (tabl. 2) s'appuyant sur une caractéristique sujette à une plus grande variabilité biologique et qui présente en outre un intérêt technologique certain. L'écart-type de cette mesure permet d'envisager la prise en compte de cette grandeur dans le cas de la viande de porc et, sous réserve que cette relation existe également, pour la viande bovine.

Enfin la détermination dans les muscles frais de la teneur en collagène dont les résultats sont présentés pour le porc (tabl. 2) ne semble pas très encourageante. L'échantillonnage n'incluait cependant pas réellement de muscles couvrant une large gamme de teneurs en cette protéine ; ce volet est encore actuellement à l'étude.

2. Analyses sur muscles lyophilisés

Les essais ont essentiellement porté sur l'analyse du collagène total pour les muscles de bovin et des lipides totaux sur les muscles de porc. Compte tenu de la double opération de broyage que subissent les échantillons, le produit lyophilisé présente une grande homogénéité, les fibres conjonctives ne sont en particulier plus discernables et on pouvait donc espérer améliorer la qualité de la réponse spectrométrique.

TABLEAU 3

Dosage du collagène : étalonnages à partir de muscles de bovins lyophilisés.
* les 10 muscles analysés proviennent d'un même animal,
** un même muscle (Pectoral profond) provenant de 10 animaux différents.

	10 animaux x 10 muscles	1 animal (*) x 10 muscles	1 muscle (**) x 10 animaux
gamme étalon. (hyp mg/g MS)	1,0 à 5,0	1,2 à 3,0	2,1 à 5,0
nb échantillons	100 x 3	30	30
nb filtres	7	10	8
r	0,757	0,999	0,998
F	432	687	381
∂	5,06	0,36	0,48

Les résultats obtenus sur une large population de muscles et de types de bovins sont particulièrement décevants (tabl. 3, 1re colonne). Lorsqu'on réduit la source de variation en analysant soit la population des muscles d'un même animal (colonne 2), soit celle d'un même muscle pour les différents animaux (colonne 3), il apparait néanmoins une relation significative entre données de réflectance et la teneur en collagène. Le nombre d'échantillons dans ces sous-populations est cependant trop faible pour permettre d'envisager une quelconque exploitation de ces résultats.

L'interprétation de ces résultats réside vraisemblablement dans une réponse trop peu spécifique du collagène par rapport aux autres sources de variation de la composition (facteurs muscle et animal en particulier) de telle sorte qu'en réduisant cette variabilité on observe une amélioration de la réponse de l'analyseur.

Des conclusions tout à fait similaires peuvent être tirées des résultats obtenus pour les lipides totaux des muscles long-dorsaux de porcs (tabl. 4). A l'état lyophilisé, le facteur de variation « série » ou « jour d'abattage » devient déterminant et réduit fortement la signification de la régression globale entre données chimiques et réflectances IR.

TABLEAU 4

Dosage des lipides totaux : étalonnages à partir de muscles de porcs lyophilisés.

* tous les muscles longs dorsaux ont été incorporés dans l'analyse,

** l'analyse a été faite par série d'abattage correspondant à une population représentative de la population totale (3 génotypes différents).

	lipides % tous LD (*)	lipides % LD série 4(**)	lipides % LD série 6(**)
gamme étalon	0,44 à 9,36	4,34 à 7,28	0,44 à 6,72
nb échant.	154	32	26
nb filtres	9	8	8
r	0,637	0,993	0,968
F	10	192,7	25,9
∂	1,38	0,12	0,53

3. Analyse des pâtes fines

Les résultats concernant la détermination de l'eau et des lipides dans ces produits crus ou cuits sont regroupés dans le tableau 5. Pour les constituants analysés, les régressions finales sont plus satisfaisantes sur les produits cuits vraisemblablement en raison d'une plus grande homogénéité. L'eau et les lipides doivent donc pouvoir être quantifiés avec une précision suffisante au moins dans des analyses de routine.

TABLEAU 5

Etalonnages à partir de pâtes fines crues et cuites.

	pâtes fines crues		pâtes fines cuites	
	lipides %	eau %	lipides %	eau %
gamme étalon.	25 à 40	50 à 62	15 à 45	45 à 70
nb échant.	21 x 3	21 x 3	23 x 3	23 x 3
nb filtres	7	8	6	6
r	0,990	0,992	0,997	0,995
F	362	382	1696	1148
∂	0,53	0,38	0,62	0,75

III. Tests de validité de ces différents étalonnages

A l'exception du collagène, pour lequel aucun étalonnage correct n'a pu être réalisé (coefficients de régression insuffisants tant pour les muscles de bovins lyophilisés que pour les muscles de porcs frais), pour les autres constituants : eau, lipides et protéines, des coefficients ont pu être déterminés pour un nombre restreint de filtres par constituant, avec un coefficient de régression multiple très satisfaisant voisin de 0,99.

1. Dosage de l'eau

- *sur muscles de bovins*

Nous avons effectué simultanément, à l'InfraAlyzer et manuellement, les déterminations de matière sèche de 20 muscles de bovins : 10 long-dorsaux (LD) et 10 gros ancônés (GA). Les filtres retenus et leurs coefficients se sont révélés très satisfaisants, les tests de Student des différences par couples de mesures IR-référence n'étant jamais significatifs.

Dans un deuxième temps, nous avons dosé parallèlement, à l'InfraAlyzer et manuellement, la matière sèche sur 40 muscles (20 LD et 20 GA) de bœufs de 20 mois témoins et hormonés. Dans ce cas, il s'avère que les résultats donnés par l'InfraAlyzer sont incorrects : la différence de teneur en eau entre muscles de bovins témoins et hormonés n'apparaît pas au niveau des résultats IR (tabl. 6). Ces mauvais résultats posent le problème de l'influence d'une éventuelle modification des relations protéines-eau ou d'une modification qualitative des lipides sur la réponse de l'analyseur.

TABLEAU 6

Comparaisons des résultats de matières sèches (MS) de 2 types de muscles de bovins témoins et d'animaux du même type (bœufs de 20 mois) ayant subi un implant hormonal.

Ld : long dorsal, GA : Gros ancôné.

Echantillons	nbre de muscles	MS (%) val. manuelles	MS (%) valeurs IR
Ld témoin	10	25,47 ± 0,70	25,83 ± 0,43
Ld traité	10	24,64 ± 0,71	25,49 ± 0,49
GA témoin	10	24,75 ± 0,91	25,80 ± 0,46
GA traité	10	23,84 ± 0,91	25,36 ± 0,42

- *sur muscles de porcs*

Nous avons testé les filtres retenus et leurs coefficients, sur trois séries de 20 long-dorsaux frais de porcs. Par série, la moyenne des valeurs manuelles était bien identique à celle des valeurs IR, mais les variations individuelles à l'intérieur de chaque série n'étaient pas reconnues par l'InfraAlyzer. Il faut toutefois noter que les muscles dosés avaient une teneur en eau correspondant à une extrémité de la gamme.

En ce qui concerne le dosage de l'eau, les valeurs obtenues pour les différents étalonnages sont cohérentes (environ 75 p. 100 d'eau pour les différents muscles), mais nous avons constaté :

- une influence des variations qualitatives induites par les traitements subis par les animaux, en particulier un traitement hormonal,
- une mauvaise discrimination des variations individuelles à l'intérieur d'une même population.

2. Dosage des lipides

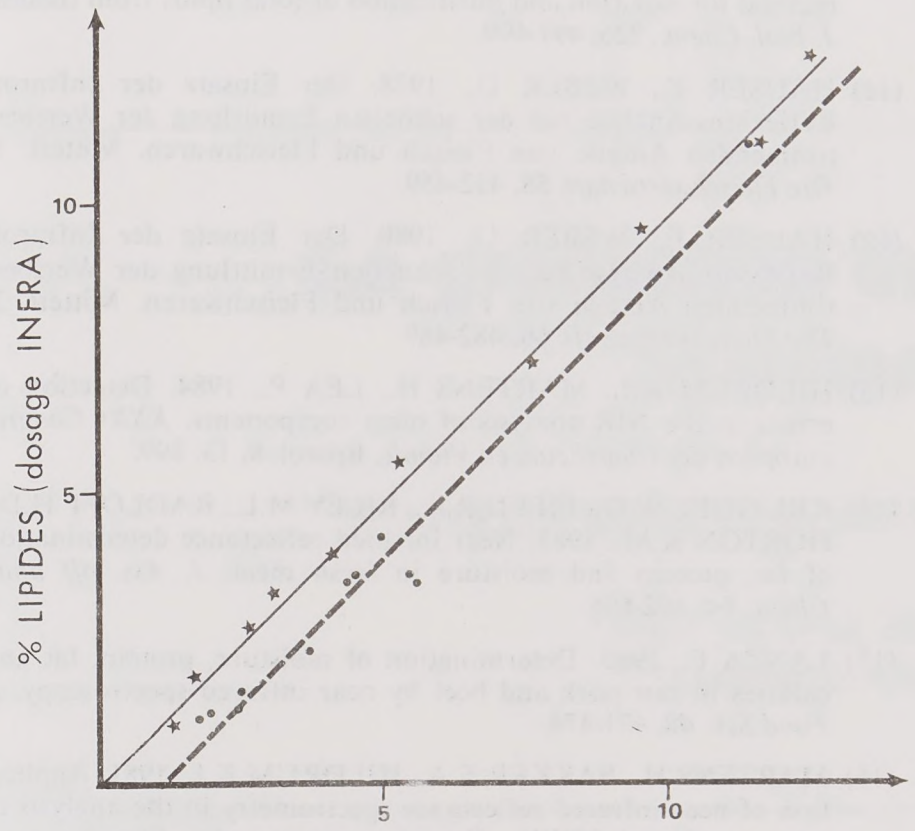


FIG. 1 : *Correspondance entre les valeurs obtenues par dosage manuel et par mesure à l'InfraAlyzer (INFRA) pour les lipides dans les muscles frais de bovins.*

* 10 muscles ayant servi pour l'étalonnage

● 11 muscles différents sans correction de biais par rapport à l'étalonnage initial.

Nous avons dosé les lipides manuellement (selon 1) et par IR, sur 9 muscles de bovins contenant de 1 à 12 p. 100 de lipides. Nous obtenons une bonne corrélation entre les deux types de résultats (fig. 1), encore qu'une correction de biais soit nécessaire. La même comparaison avec la méthode Soxhlet a été faite sur 10 autres muscles de bovins, là encore les résutats IR étaient très satisfaisants après correction de biais.

En ce qui concerne les muscles de porc, il nous est difficile de juger les filtres retenus pour les lipides de ce type d'échantillons, peu de dosages ayant été réalisés par la suite. Cependant sur 6 muscles, contenant de 5 à 15 p. 100 de lipides, nous avons trouvé une corrélation élevée ($r^2 = 0{,}994$) entre les résultats IR et manuels. Une confirmation reste néanmoins nécessaire.

Pour les pâtes fines crues et cuites, les filtres retenus donnent des résultats variables selon les échantillons utilisés pour les tester. Une gamme plus large s'avère nécessaire, elle est en cours de réalisation.

Toutefois, à partir de ces filtres et de leurs coefficients, nous avons déterminé à l'InfraAlyzer la teneur en lipides de mêlées de porcs ayant un taux de lipides constant égal à 30 p. 100, mais présentant une composition qualitative variable des gras (mélange en proportions différentes de saindoux et d'huile de maïs entraînant une variation du degré d'insaturation caractérisé par l'indice d'iode). Nous avons constaté que les teneurs en lipides données par l'InfraAlyzer, au lieu d'être constantes, étaient inversement proportionnelles à l'indice d'iode ($r^2 = 0{,}932$).

En conclusion, la détermination des lipides sur muscles frais semble possible mais des dosages de contrôle sont encore nécessaires. Sur les produits de charcuterie de type pâtes fines, une gamme de produits d'une plus grande diversité qualitative et quantitative est nécessaire pour réaliser un étalonnage susceptible de s'appliquer à des produits très divers.

3. Dosage des protéines

Les étalonnages se sont avérés corrects tant pour les muscles de bovins que pour les muscles de porcs, mais aucun dosage d'azote n'ayant ensuite été réalisé sur des échantillons non inclus dans les gammes, il ne nous a pas été possible de tester la validité des filtres retenus et de leurs coefficients. Il paraît intéressant de s'orienter vers la détermination de la fraction azotée dans la matière sèche pour laquelle la gamme de variation est sensiblement plus élevée et qui semble plus aisée à déterminer par spectrométrie IR.

Conclusion

Compte tenu des expérimentations réalisées à ce jour, nous ne pouvons affirmer pouvoir déterminer sans ambiguité les principaux constituants de la viande et des produits carnés à l'aide de l'InfraAlyzer.

Les problèmes auxquels nous nous sommes heurtés sont de divers ordres :

a) l'insuffisance du nombre de tests de validité, ceci essentiellement par manque d'échantillons sur lesquels les dosages manuels, laborieux à mettre en œuvre, étaient réalisés parallèlement ;

b) les caractéristiques propres des muscles ou des constituants :

- l'hétérogénéité du muscle, la faible variabilité de sa teneur en eau, sa faible teneur en lipides supposent des étalonnages très précis et dans des gammes d'amplitude restreinte ;
- la variation qualitative possible de ces constituants : collagène, lipides... sous l'effet de différents facteurs biologiques (race, sexe, alimentation...) ou technologiques exige un étalonnage large avec un grand nombre d'échantillons représentant les divers muscles susceptibles d'être analysés ;

c) la réponse propre de l'analyseur : pour certains constituants comme le collagène, il est vraisemblable que l'IR 400 ne comporte pas les filtres appropriés, il serait donc nécessaire de caractériser le spectre de ce type de protéine dans le proche infrarouge pour éventuellement définir des filtres plus spécifiques.

Il faut également signaler que la mise en œuvre, sur une longue période (plusieurs années), de ce type d'analyse peut faire apparaître d'autres difficultés (augmentation de l'écart-type associé aux mesures IR), qui nécessitent un complément de calibration (13).

La réalisation des étalonnages est une opération particulièrement importante, les gammes étalons devant recouvrir l'ensemble, qualitativement et quantitativement, des échantillons qui seront analysés ultérieurement avec les filtres retenus.

Mais par ailleurs, étant donnée la rapidité d'une mesure (de l'ordre de 30 s pour un échantillon broyé et disposé dans la cellule de mesure), on peut penser compenser dans une certaine mesure la moindre précision par un plus grand nombre de déterminations qui permettra de tenir également mieux compte de l'hétérogénéité propre de la viande.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier, pour leur participation à ce travail, Odile BURTON, J.P. POMA, B. BOSNE (Association pour le Développement de l'Institut de la Viande), B. AUROUSSEAU (Métabolisme énergétique), Ch. DENOYER, J.P. GIRARD, G. MONIN et P. VERNIN (Station de Recherches sur la Viande).

Références bibliographiques

(1) ARNETH W., 1972. Über die refractometrische Schnellfettbestimmung nach Rudischer in Fleisch und Fleischwaren. *Die Fleischwirtschaft*, **11**, 1455-1457.

(2) ARNETH W., 1981. Erfahrung mit einer Methode zur schnellen Bestimmung des Wassers-, Eiweiss- und Fettgehaltes in Fleischwaren. *XXVII^e Congrès européen des Chercheurs en Viande*, Vienne, **F1**, 557-560.

(3) BARTLEY D.F., 1984. Meat analysis by infrared transmission. *XXX^e Congrès européen des Chercheurs en Viande*. Bristol, **8**, 10, 393.

(4) BEN-GERA I., NORRIS K.H., 1968. Direct spectrophotometric determination of fat and moisture in meat products. *J. Food Sci.*, **33**, 64-67.

(5) BERGMAN I., LÖXLEY R., 1969. Hydroxyprolin analysis in acid hydrolysates. *Anal. Chem.*, **35**, 1961-1967.

(6) BJARNØ O.C., 1981. Multicomponent analysis of meat products. *J. Ass. off. anal. Chem.*, **64**, 1392-1396.

(7) BJARNØ O.C., 1982. Multicomponent analysis by infrared spectrophotometry : collaborative study. *J. Ass. off anal. Chem.*, **65**, 696-700.

(8) BONNET M., KOPP J., 1984. Dosage du collagène dans les tissus conjonctifs, la viande et les produits carnés. *Cah. Tech. INRA*, **5**, 19-30.

(9) FERRARI A., 1960. Nitrogen determination by a continous digestion and analysis system. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **87**, 792.

(10) FOLCH J., LEES M., SLOANE STANLEY G.H., 1957. A simple method for isolation and purification of total lipids from tissues. *J. biol. Chem.*, **226**, 497-499.

(11) HAUSER E., WEBER U., 1978. Der Einsatz der Infrarot-Reflexions-Analyse bei der schnellen Ermittlung der Wertbestimmenden Anteile von Fleisch und Fleischwaren. Mitteil. 1. *Die Fleischwirtschaft*, **58**, 452-459.

(12) HAUSER E., WEBER U., 1980. Der Einsatz der Infrarot-Reflexions-Analyse bei der schnellen Ermittlung der Wertbestimmenden Anteile von Fleisch und Fleischwaren. Mitteil. 2. *Die Fleischwirtschaft*, **60**, 482-489.

(13) HILDRUM K.I., MARTENS H., LEA P., 1984. Detection of errors in the NIR analysis of meat components. *XXX^e Congrès européen des Chercheurs en Viande*. Bristol, **8**, 13, 399.

(14) KRUGGEL W.G., FIELD R.A., RILEY M.L., RADLOFF H.D., HORTON K.M., 1981. Near infrared reflectance determination of fat, protein and moisture in fresh meat. *J. Ass. off anal. Chem.*, **64**, 692-696.

(15) LANZA E., 1983. Determination of moisture, protein, fat and calories in raw pork and beef by near infrared spectroscopy. *J. Food Sci.*, **48**, 471-474.

(16) MARTENS H., BAKKER E.A., HILDRUM K.I., 1981. Application of near infrared reflectance spectrometry in the analysis of meat products. *XXVII^e Congrès européen des Chercheurs en Viande*. Vienne, **F2**, 561-564.

(17) OSBORNE B.G., 1981. Principles and practice of near infrared (NIR) analysis. *J. Food Technol.*, **16**, 13-19.

(18) POSELLO A., GIANGIACOMO R., 1983. Application of near infrared spectrophotometry to the nondestructive analysis of foods. A review of experimental results. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, **18**, 203-230.

(19) QUIGNON B., 1979. Etude des procédés de dosage rapide de la matière grasse dans la viande et les produits à base de viande. *ADRIA Bull.*, **6**, 4-9.

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1985 (60) 31-41

La production de viande chevaline en France Systèmes d'élevage et de production

W. MARTIN ROSSET*, M. JUSSIAUX**, Catherine TRILLAUD-GEYL** et J. AGABRIEL*

**INRA CRZV de Theix, Station des Productions bovines et chevalines, 63122 Ceyrat*

***Institut du Cheval, Station expérimentale des Haras, 19340 Arnac Pompadour*

La France consomme près de 80 000 tonnes de viande de cheval soit 1,6 kg/ha/an, mais importe 80 p. 100 de ses besoins (1).

Le pays dispose encore de 350 000 chevaux soit le plus gros effectif de chevaux de la Communauté Européenne à 9 (fig. 1). La moitié est constituée de chevaux de races de trait qui sont disponibles pour produire de la viande de cheval et l'autre moitié correspond aux chevaux de selle (hippodrome-sports-loisirs). Actuellement les chevaux lourds représentent la moitié de la production intérieure contrôlée. Les juments sont situées soit dans les berceaux de races : régions herbagères ou de cultures (Bretagne, Nord, Est...) où l'effectif a beaucoup diminué et est maintenant très dispersé ; soit dans les zones d'altitude (Pyrénées, Massif central...) où des troupeaux de juments plus ou moins importants se sont constitués en vue de produire de la viande de cheval (fig. 2).

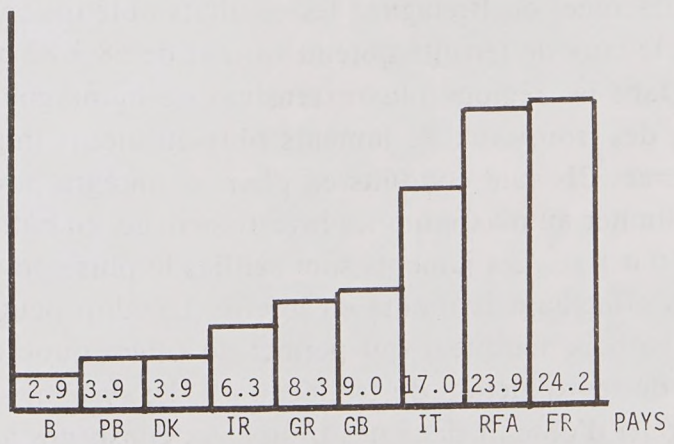


FIG. 1 : *Proportion de chevaux dans la CEE à 9* (effectif : 1 552 000)

D'après le Service des Haras (1983) (2) il y aurait 37 500 juments lourdes. Le taux de fertilité en système traditionnel de monte en main est faible 59 p. 100 (3 et 4) et le taux estimé de mortalité total de poulains (avant et après mise-bas) relativement élevé 10 à 20 p. 100. Dans ces conditions, le nombre de poulains sevrés disponibles annuellement est seulement de 15 000 soit 40 à 45 p. 100 du nombre de juments saillies. C'est le facteur limitant principal de l'accroissement de la production de viande chevaline.

Jusqu'en 1965, la production intérieure de viande chevaline provenait essentiellement de l'abattage des chevaux de travail. Depuis, l'engraissement à l'auge de poulains de boucherie sevrés à 6 mois et abattus à 12 mois s'est développé soit dans les zones de culture, soit à la périphérie des zones extensives. Dans tous les cas, les ateliers d'engraissement se sont mis en place empiriquement en transposant le plus souvent l'expérience acquise sur l'engraissement des bovins à viande.

Face à cette situation des mesures de soutien et règlementaires ont été successivement mises en place en 1972, 1979 et actualisées en 1983 dans le cadre de trois plans de relance de la production chevaline (5). Simultanément, a été mis en place par le Service des Haras et l'INRA un programme de recherches visant à préciser les méthodes qui permettent d'une part d'accroître le nombre de poulains par jument et d'autre part d'engraisser des poulains de races lourdes pour la boucherie.

I. Accroissement de la productivité numérique

Il faut avoir recours à des systèmes de reproduction et d'élevage efficaces, simples, c'est-à-dire peu coûteux en main

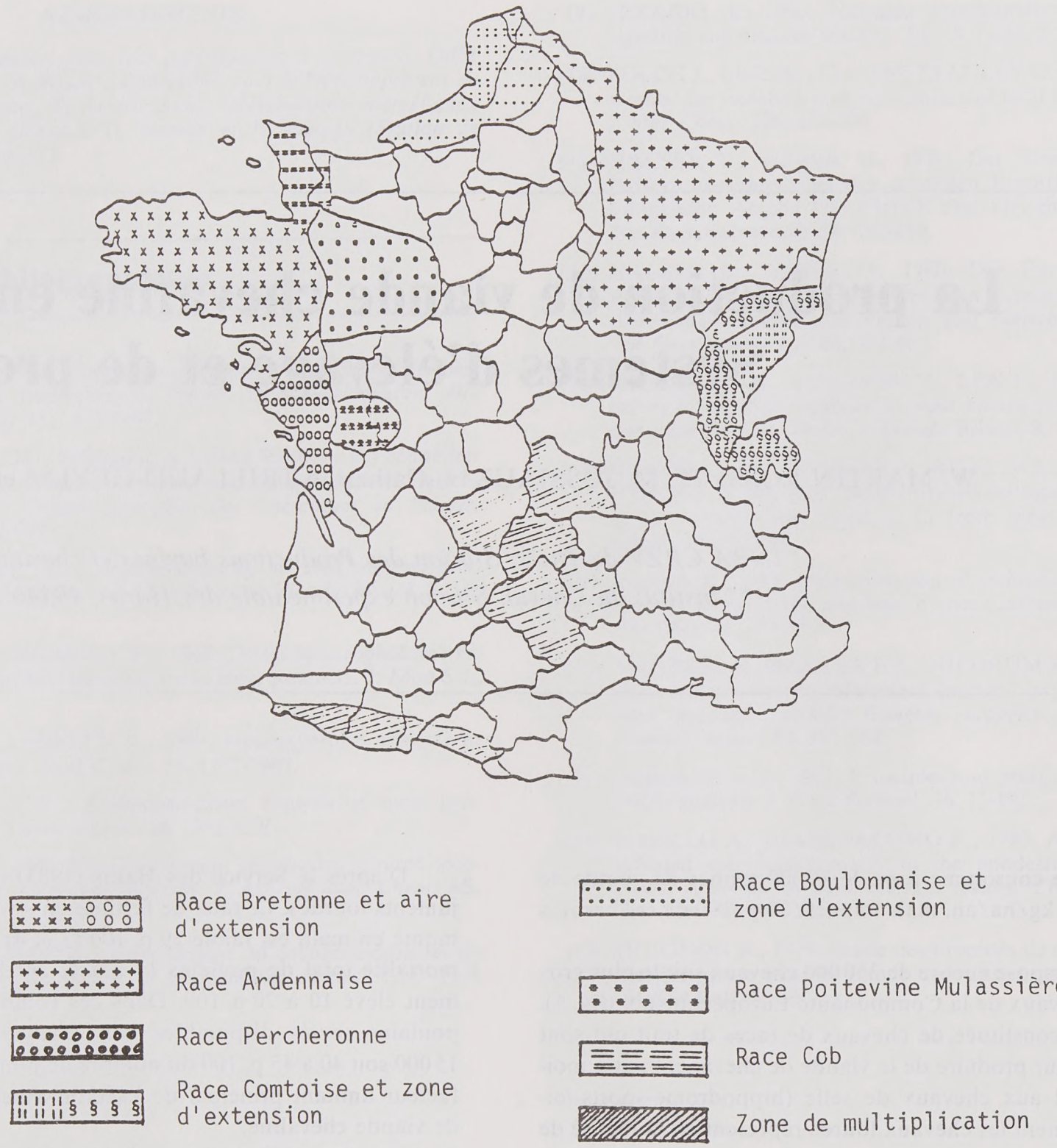


FIG. 2 : *Situation géographique des berceaux d'origine des principales races de chevaux lourds et des zones de multiplication*

d'œuvre, et qui s'intègrent bien dans les systèmes d'élevage déjà pratiqués ou possibles dans la région considérée.

1. Systèmes de reproduction

En zone traditionnelle d'élevage ou berceau de races (fig. 2), c'est le système de monte en main qui prédomine car les juments sont très dispersées, quelques unités dans un grand nombre d'élevages. Il est pratiqué dans la plupart des cas grâce à la mise à disposition des éleveurs, d'étalons appartenant au Service des Haras nationaux, soit dans des stations de monte, soit avec des étalons itinérants (60-70 p. 100 des étalons effectuant la monte publique) (4). Le taux de fertilité est de 59 p. 100 malgré les améliorations apportées (3-4). Depuis 2 ans, l'insémination artificielle ainsi que différentes mesures d'accompagnement (détection des chaleurs, rapprochement des saillies — ovulation après palper — saillies sur chaleur induite...) ont été expérimentées en Bretagne : les résultats obtenus sont prometteurs, le taux de fertilité obtenu variant de 68 à 82 p. 100 (6).

Dans les régions plus extensives de montagne et de piémont, des troupeaux de juments plus ou moins importants se sont créés. Ils sont conduits en plein air intégral toute l'année pour limiter au maximum les investissements en bâtiments et la main d'œuvre. Les juments sont saillies le plus souvent par un étalon effectuant la monte en liberté. L'étalon peut être muni d'un harnais marqueur qui permet de suivre quotidiennement l'état de reproduction du troupeau (7). Le système est efficace et permet d'obtenir dans des troupeaux constitués au début de la saison de monte (troupeaux fermés), un taux de fertilité qui varie de 85 à 95 p. 100 (8, 9). En troupeaux ouverts, c'est-à-dire

constitués au cours de la saison de reproduction, comme c'est le plus souvent le cas dans les Stations de monte des Haras nationaux et dans les troupeaux particuliers, le taux de fertilité obtenu est très variable car il dépend du mode de gestion des troupeaux. Il varie de 85 à 90 p. 100, lorsque la gestion de la reproduction du troupeau est stricte (maîtrise de l'activité sexuelle de l'étalon, des introductions de juments dans le troupeau, intervention au niveau du cycle ovarien avec des injections d'HCG ou de prostaglandine selon les cas...). Il est de 70-75 p. 100 lorsque la gestation des troupeaux est moins maîtrisée (10).

2. Saillie précoce à 2 ans de la pouliche

Traditionnellement la pouliche de race lourde est saillie à 3 ans pour mettre bas à 4 ans son premier poulain. Il est possible d'avancer l'âge de mise à la reproduction de la pouliche à 2 ans (11) car l'âge à la puberté est de 14 mois (PALMER et MARTIN-ROSSET, non publié). Mais différents facteurs techniques limitent beaucoup cette pratique. La pouliche saillie à 2 ans, à un poids vif représentant 70 à 80 p. 100 du poids vif adulte, a un taux de fertilité limité se situant autour de 70 à 76 p. 100 (11 ; 12). Ce taux ne s'améliore pas à 3 ans après une première mise bas précoce, car le taux d'ovulation à la chaleur *post-partum* paraît plus faible (13). Le format adulte de la jument est ensuite diminué. Au tarissement à 3 puis 4 ans, le poids de la jument saillie à 2 ans et ayant mis bas et allaitée, est de 5 à 10 p. 100 inférieur à celui de la jument saillie à 3 ans, même si elle est en permanence bien alimentée.

Il faut très souvent assister la jeune pouliche à la mise-bas. Le taux de mortalité des poulains est très élevé, il peut varier de 17 à 37 p. 100 (13 ; 14). Le taux de réforme à 3 et 4 ans de ces femelles ayant mis bas à 3 ans est très élevé, d'environ 30 p. 100 (12).

Le poulain né d'une jument de 3 ans a un poids vif égal au poulain issu de primipare à 4 ans, mais inférieur de 10 p. 100 par rapport au poulain issu de jument multipare. Les croissances de ces poulains jusqu'au sevrage ne sont pas significativement inférieures si la jument de 3 ans est bien alimentée au cours de la lactation.

La saillie à 2 ans paraît donc être une solution peu efficace et trop coûteuse pour accroître véritablement la productivité des troupeaux en zone extensive. En revanche, elle mérite d'être étudiée avec des pouliches très bien soignées comme ce peut être le cas dans les exploitations des berceaux de races. Mais, même dans ces conditions plus favorables, l'intérêt économique d'une telle technique est à démontrer. Par ailleurs, il n'est pas sûr que les éleveurs, le plus souvent sélectionneurs soient prêts à accepter une réduction même temporaire du format des juments aussi bien pour les femelles conservées que pour les femelles qui seront réformées très tôt.

3. Reproductivité de la jument

D'après les données fournies par le Service des Haras, les juments saillies par la méthode traditionnelle mettent bas en moyenne 1 fois tous les 2 ans. La marge d'amélioration de la reproductivité des juments est donc importante.

Les difficultés de reproduction sont les causes principales de variation de l'intervalle entre mise bas. La durée de la gestation est longue 325 à 355 jours (15) et peu variable 340,5 ± 7,8 (16). Si on veut réussir une mise-bas par an, il faut féconder la jument au cours des 2 premiers œstrus, et en particulier à la chaleur *post partum* qui se situe en moyenne 9 jours après le poulinage pour 75 à 80 p. 100 des juments adultes (17 ; 18) et seulement 22 jours après chez la jument primipare à 3 ans. Le taux de fertilité de cet œstrus *post partum* : 54-57 p. 100 est chez la femelle multipare, aussi élevé que celui observé au cours du cycle suivant : 53-55 p. 100 (9 ; 19). Il ne semble pas modifié lorsque les juments sont fortement sous-alimentées (20 ; 21). En revanche, il semble y avoir une liaison négative entre celui-ci et les difficultés de mise-bas. C'est la présence de juments stériles ou ne venant pas en chaleurs, et la pratique de la saillie à 2 ans qui est la cause majeure de l'allongement de l'intervalle moyen entre mise-bas dans les troupeaux lorsque le système de reproduction et la technicité ne peuvent être mise en cause.

La mise au point de divers diagnostics plus ou moins précoces de gestation : échographie au 14e jour après la saillie supposée fécondante (22), dosages de la progestérone plasmatique au 18e jour (23) ou des œstrogènes plasmatiques à partir de 85e jour (24), devrait permettre, d'abord d'intervenir très tôt en saison sur les juments difficiles à remplir et surtout d'éliminer en fin de saison les juments stériles.

La maîtrise des cycles par l'utilisation de séquences de traitements hormonaux : Prostaglandine—HCG — Prostaglandine (25) ou Progestanènes — Prostaglandine-HCG (26) ; enfin de l'induction de l'œstrus et du choix du moment de la saillie par un traitement associant des progestagènes, une injection de postaglandine puis d'HCG encadrée par une saillie (27), serait une voie d'amélioration possible dans la mesure où la fertilité des juments, est satisfaisante. Elle pourrait permettre de fixer à la période la plus favorable, la date de la première mise-bas, et par conséquence, les dates de mise-bas ultérieures ; et surtout de limiter le nombre d'interventions, dans le cadre de la reproduction avec monte en main ou de l'utilisation de l'insémination artificielle. Toutefois, si séduisante qu'elle soit, cette technique exige un minimum de manipulations et un suivi qui ne peut être mis en œuvre que dans les régions de plaine (ex. berceau de races) où les juments entretenues sur l'exploitation sont peu nombreuses, faciles d'accès et relativement bien soignées car l'investissement en main d'œuvre est déjà important.

Dans les zones extensives ou marginales, l'efficacité de la maîtrise des cycles risque d'être limitée par les erreurs de conduite et d'alimentation, ainsi que l'insuffisance voire l'impossibilité, d'une surveillance sérieuse. C'est pourquoi, la monte en liberté est la technique qui se développe le plus actuellement. Elle permet de choisir dans une certaine mesure la date de mise-bas si on introduit ou on sort l'étalon du troupeau à des dates précises.

4. Mortalité des poulains

Pour 100 poulains à naître, 13 à 20 vont mourir de maladies ou d'accidents, 3 à 5 au cours de la gestation, 8 à 12 à la naissance et 2 à 3 au cours des mois suivants (8 ; 14 ; 28). La cause majeure de mortalité est l'insuffisance de surveillance à la mise-bas : les taux de mortalité observés sur des troupeaux expérimentaux conduits dans les mêmes conditions sont de 5 p. 100 avec mise-bas surveillée (14) et de 18 p. 100 dans le cas contraire (TRILLAUD-GEYL, JUSSIAUX, non publié). La pratique du poulinage à 3 ans entraîne un accroissement subs-

tantiel de la mortalité, elle est environ 2 fois plus élevée que chez les juments adultes (tabl. 1).

5. Bilan de productivité

L'analyse technico-économique de la gestion du troupeau expérimental enregistré pendant plusieurs années consécutives selon la méthode mise au point par LIENARD et MARTIN-ROSSET (1977) montre que l'on peut avec la monte en liberté obtenir une productivité numérique satisfaisante (70 p. 100) si l'on maîtrise bien les différents facteurs techniques qui viennent d'être considérés (tabl. 1).

TABLEAU 1

Bilan de productivité du troupeau de l'INRA de Theix (1976-1982)
(d'après Lienard et Martin-Rosset, 1984)

Types d'animaux	Adultes	Pouliches			Total
		1er poulinage à 4 ans	1er poulinage à 3 ans	2ème poulinage à 4 ans	
Femelles saillies (nombre)	247	27	57	36	367
Taux de gestation (p.100)	81,0	88,9	69,6	68,6	78,6
Taux d'avortement (p.100)	2,5	4,2	0	0	2,1
Taux de mortalité des poulains (p.100)					
- 0-48 heures	4,3	9,5	5,6	4,3	4,9
- 3 jours-1 mois	2,1	0	5,6	0	2,2
- 1 mois-sevrage	0,5	4,8	8,3	0	1,9
- Total	6,9	14,3	19,4	4,3	9,0
Nombre de poulains sevrés pour 100 femelles ayant mis bas	93,6	85,7	80,6	95,7	91,4
Productivité numérique (p.100)	73,9	73,0	56,1	65,6	70,4
Proportions de poulinages pour 100 femelles présentes	88,6	95,5	100,0	82,1	89,9
Taux de productivité globale (p.100)	65,5	69,7	56,1	53,9	63,2

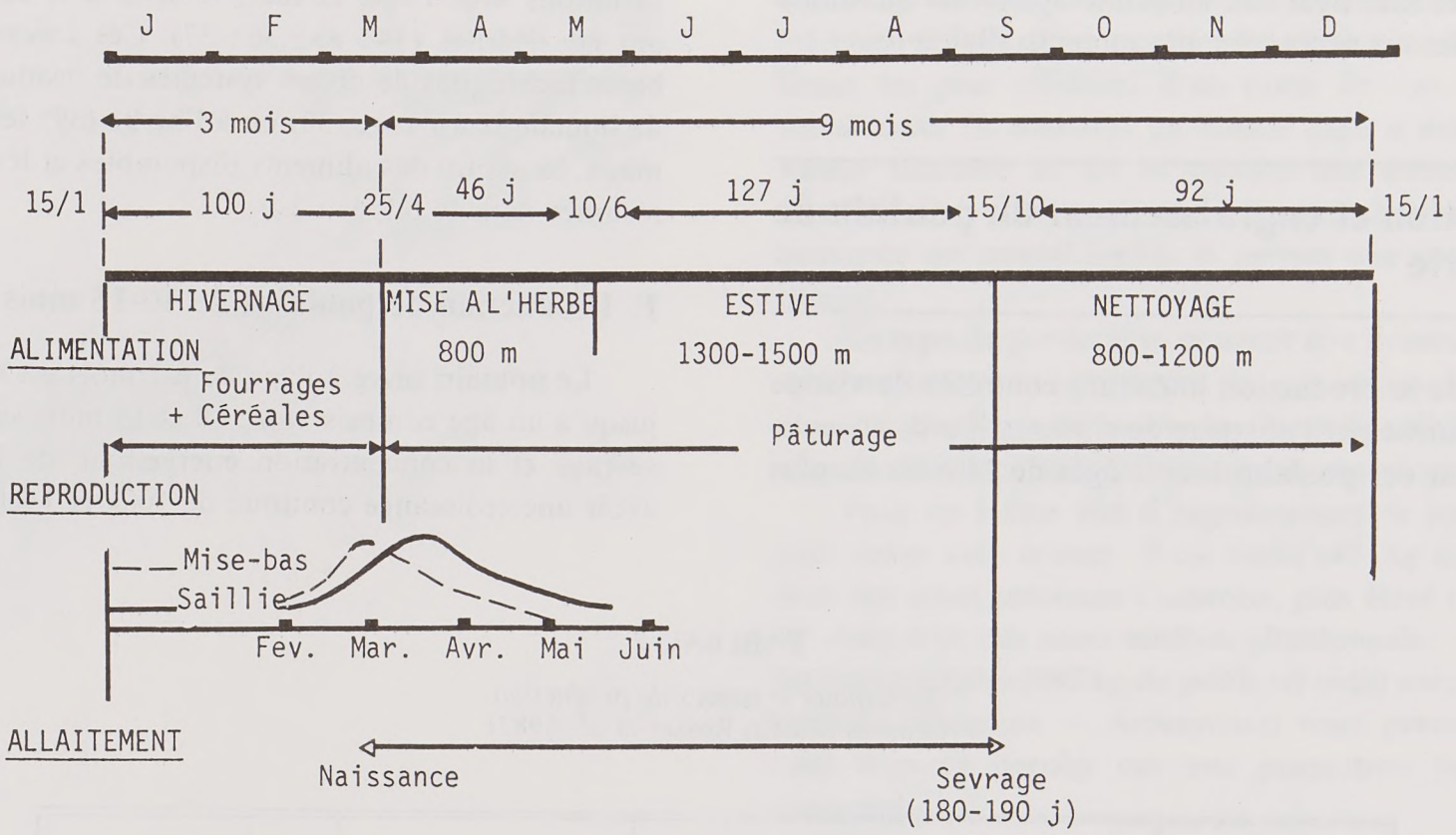
II. Augmentation du nombre de juments

Pour compléter l'amélioration apportée par ces nouveaux systèmes de reproduction et d'élevage, différentes mesures de soutien plus ou moins contractuelles : primes d'élevage distribuées par le Service des Haras ; primes à l'engraissement, aides à la collecte du maigre de l'OFIVAL ont déjà été mises en œuvre pour favoriser l'augmentation du nombre de juments (5).

La jument lourde peut trouver sa place en complément des ruminants, des bovins en particulier. Cette association est déjà largement réalisée, d'une part avec des bovins allaitants dans des zones de montagne et de piémont (Massif central...) ou dans des zones herbagères (Normandie, Centre, Lorraine...) et, d'autre part avec des bovins laitiers dans des zones herbagères (Bretagne, Franche Comté). La jument peut être conduite en plein air intégral toute l'année. Elle met bas 1 mois avant la mise à l'herbe. Elle ne reçoit des aliments coûteux (fourrages et concentrés) en quantité limitée qu'au cours des 2 derniers mois de gestation et du 1er mois de lactation qui correspondent à la 2e partie de l'hiver. La jument s'accommode bien d'une sous-alimentation, à la fin de l'automne et pendant la période hivernale soit durant 150 à 200 jours, et relativement sévère au cours des 100 derniers jours, à condition de disposer d'herbe abondante au printemps. Pendant l'été, après le 2e mois de lactation elle peut se contenter de pâturages plus médiocres (fig. 3) ; mais le poulain qui commence à pâturer effectivement dès l'âge de 1 mois (29) a alors besoin de plus en plus d'herbe alors que la production d'herbe diminue au cours de la saison de pâturage.

En zone d'altitude ou de piémont, les troupeaux de juments utilisent des surfaces peu productives qui représentent 60 à 70 p. 100 de l'alimentation annuelle et presque la totalité du pâturage (fig. 3 a). Dans ce système, on combine l'exploitation maximale successive de plusieurs types de pâturages que les chevaux contribuent à améliorer ou à entretenir. En été, les juments peuvent utiliser des pâturages dégradés : estive et parcours, comprenant une proportion plus ou moins importante de ligneux et de graminées de la Lande (*Nardus stricta — Festuca ovina*...) et situés entre 1200 et 1500 m. En fin d'été et en automne, les juments nettoient les prairies entretenues proches de l'exploitation, des refus laissés par les ruminants pendant

a) Zone de 1/2 montagne (Theix) + estive (Laqueuille)



b) Zone de plaine (Chamberet)

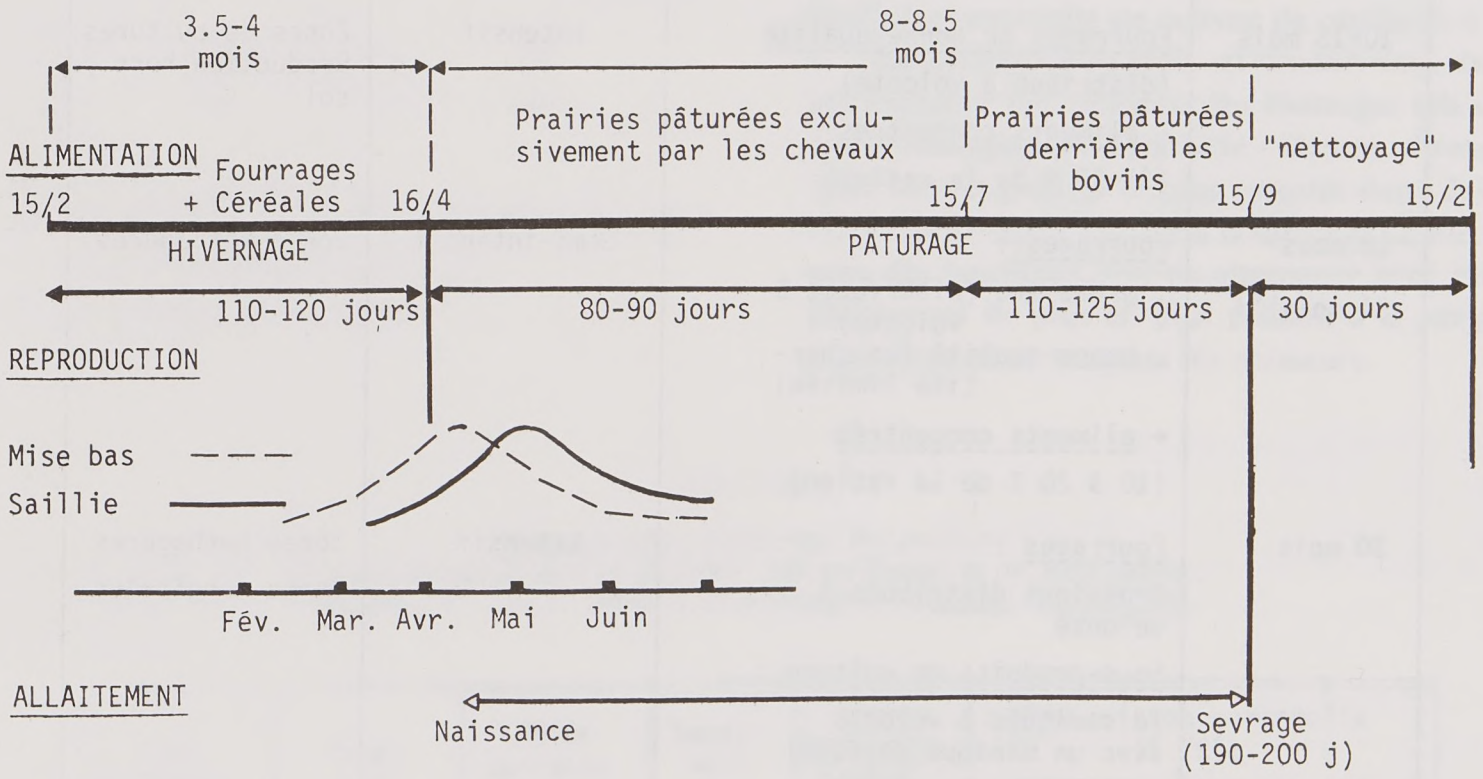


FIG. 3 : *Schéma de conduite des troupeaux de juments allaitantes*
(d'après Martin-Rosset et Trillaud-Geyl, 1984)

l'été. Le cheval améliore ces pâturages peu productifs car il est peu sélectif. Il pâture à ras toutes les espèces herbacées dans les zones herbeuses propres de toutes déjections, mais regroupe ses crottins sur les formations ligneuses qu'il piétine à cette occasion. La composition de ces derniers est améliorée (30 ; 31). L'amélioration observée est lente car les écosystèmes étudiés comporte une certaine inertie (32). Toutefois, selon le niveau de dégradation des pâturages (p. 100 de ligneux et de Nard) et dans le cas de leur exploitation sans fertilisation, le cheval, doit être associé aux ruminants, en exploitant simultanément ou en alternance.

En zones herbagères, les troupeaux de juments exploitent d'une part les surfaces non fauchables, ou médiocres qu'ils contribuent ainsi à améliorer et d'autre part les refus laissés par les ruminants pendant l'été (fig. 3 b). Le pâturage représente 70 à 80 de l'alimentation annuelle.

Dans tous les cas, il y a une bonne complémentarité des chevaux et des ruminants au niveau de l'exploitation, qui pose peu de problèmes sauf peut être au printemps où un minimum de bonnes prairies est nécessaire aux juments allaitantes.

III. Production et engraissement du poulain de boucherie

La moitié de la production intérieure contrôlée de viande chevaline est fournie par l'abattage de chevaux lourds et seulement le quart par des poulains lourds âgés de 24 mois au plus (33).

Jusqu'à un avenir récent, l'absence de prix attractifs, d'organisation de la production et du marché (5-43) ainsi que l'insuffisance de données techniques solides, ont largement contribué à cette situation.

Depuis une dizaine d'années différents systèmes de production ont été mis en place par les producteurs en s'inspirant au départ de l'expérience acquise sur les bovins à viande.

Depuis 1972, la croissance du poulain de boucherie, les caractéristiques des carcasses, la qualité des viandes et leurs variations avec l'âge, la race, le sexe et le régime alimentaire ont été décrites (34 ; 35 ; 36 ; 37). Ces travaux ont défini les bases techniques de divers systèmes de production du poulain de boucherie à l'auge (38) où à l'herbe (39) selon le type d'animaux, la nature des aliments disponibles et les régions. Ils sont résumés dans le tableau 2.

1. Production de poulains de 10-15 mois

Le poulain sevré à l'âge de 6-7 mois est engraissé à l'auge jusqu'à un âge compris entre 10 et 15 mois selon son poids au sevrage et la concentration énergétique de la ration. Il peut avoir une croissance continue de 1000 et 1400 g proche de son potentiel de croissance (fig. 4). Il est abattu à un poids vif variant de 450 à 500 kg et produit une carcasse de 270 à 300 kg (tabl. 3). La viande est tendre, mais de couleur claire (37).

Le poulain reçoit une ration de concentration énergétique très élevée composée de fourrages à forte valeur nutritive (ensilage de maïs) et comprenant de 35 à 60 p. 100 d'aliment concentré, à base de céréales et de tourteau de soja (tabl. 4). Le four-

TABLEAU 2

Principaux systèmes de production
(d'après Martin-Rosset *et al.*, 1982)

ANIMAUX	ALIMENTS	SYSTEMES	ZONES DE PRODUCTION
6-7 mois	Lait maternel + herbe + aliment concentré (60-80 jours avant sevrage)	Laiton lourd	Zones herbagères
10-15 mois	Fourrages de bonne qualité (distribué à volonté) + aliments concentrés (35-60 % de la ration)	Intensif	Zones de cultures Production hors sol
18 mois(1) 24 mois(2)	Fourrages : . grossiers (distribués à volonté) . bonne qualité (en quantité limitée) + aliments concentrés (10 à 20 % de la ration)	Semi-intensif	Zones herbagères
30 mois	Fourrages : Grossiers distribués à volonté Sous-produits de culture : (distribués à volonté avec un minimum de foin) + aliments concentrés (5-10 % de la ration)	Extensif	Zones herbagères Zones marginales

(1) Finis à l'herbe
(2) Finis à l'auge

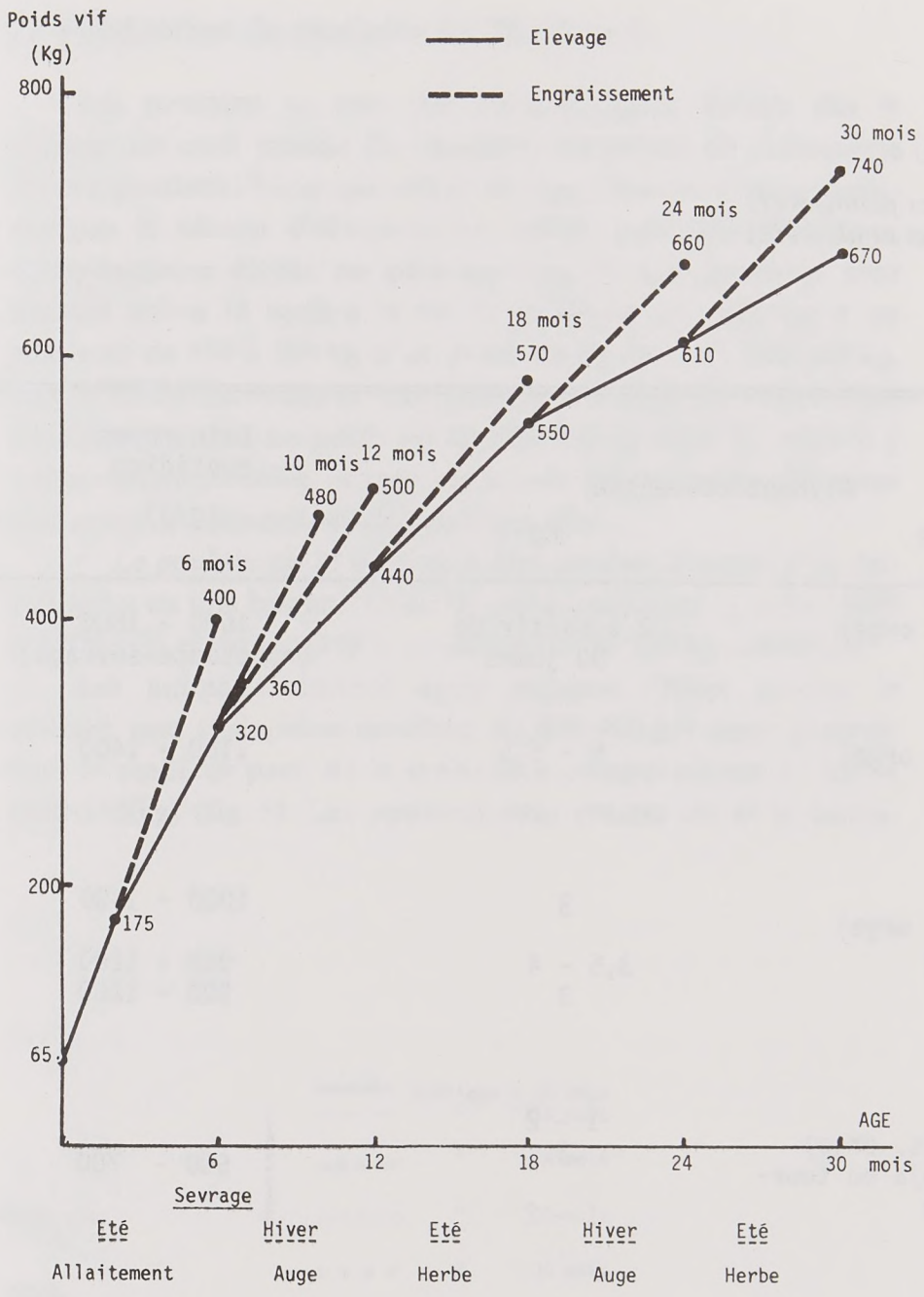


FIG. 4 : *Evolution du poids vif du poulain dans les principaux systèmes de production*

(d'après Martin-Rosset *et al.*, 1982)

rage est distribué à volonté (tabl. 2). Dans ces conditions les animaux consomment 3,5 à 4,5 kg de matière sèche par jour d'ensilage de maïs selon sa teneur en matière sèche et 3,0 kg à 3,5 kg de MS d'aliment concentré, c'est sans doute un des systèmes les plus efficaces d'un point de vue technique, pour transformer les aliments en viande mais il est tributaire de la valeur nutritive et de la qualité des aliments (40-41). La conduite d'un tel type d'animal peut être facilement maîtrisé. Il demande un travail limité. Il permet une rotation rapide du capital.

Ce type de production pourrait être éventuellement étendu aux pouliches non conservées pour le renouvellement des troupeaux, à condition de limiter la proportion d'aliment concentré dans la ration pour éviter un engraissement excessif (35 ; 42).

Pour un même état d'engraissement le poids à l'abattage peut varier avec la race : il est limité (471 kg de poids vif vide) avec des races précoces: Comtoise, plus élevé (513 kg de poids vif vide) avec des races tardives (Boulonnaise — Percheronne) ou intermédiaire (497 kg de poids vif vide) avec des races semi-tardives (Bretonne — Ardennaise) voire précoces : mais recevant dans ce dernier cas une proportion limitée d'aliment concentré (36).

Ce type de production est maintenant assez bien conu (38). Il reste à préciser l'influence du poids au sevrage sur l'âge et le poids à l'abattage, le choix du poids de carcasse optimum, l'utilisation de régimes nouveaux (ex. : ensilage d'herbe...) et leur action éventuelle sur la qualité de la viande produite ; enfin la possibilité de réduire le coût de l'alimentation pour assurer une meilleure rentabilité de ce type de production (43).

Le poulain de 12 mois est produit dans des régions où l'on peut récolter des céréales, des fourrages tels que l'ensilage de maïs (Champagne - Thiérache - Centre - Bretagne...). Les poulains sont engraissés le plus souvent dans des bâtiments existants, avec l'aide de la main d'œuvre existante, soit en parallèle avec des taurillons, soit en alternance avec des porcs. Mais le poulain est de plus en plus produit à la périphérie des zones extensives où se trouvent les naisseurs.

TABLEAU 3

Caractéristiques d'abattage des poulains

(d'après Martin-Rosset *et al.*, 1980 ; Martin-Rosset *et al.*, non publié ; ROBELIN *et al.*, 1984 ; Trillaud-Geyl et Jussiaux, non publié)

Age abattage (mois)	Poids vif (kg)	Poids carcasse chaude (kg)	Rendement vrai (%)	Etat d'engraissement Pannes* (kg)	Composition corporelle (% PCC)		
					Muscles	Os	Gras
6-7	380-420	220-240	67-69	3-4	68-69	17-18	9-11
12	470-500	290-310	70-71	4-5	70-71	16-17	8-10
18	550-580	330-350	68-70	2,5-3,5	69-72	16-17	9-12
24	630-660	380-420	70-71	5-7	68-69	14-15	13-14
30	740-780	430-460	70-71	6-10	68-69	14-15	13-14

* Pannes : Gras adhérant à la face interne du sternum qui permet d'apprécier l'état d'engraissement des animaux avec une bonne précision. (MARTIN-ROSSET et al., 1983)

TABLEAU 4

Régimes et croissances permises (1)
(d'après Martin-Rosset *et al.*, 1982)

Age abattages	REGIME Ration de base(2)	Aliment concentré Nature	Kg	Gain moyen quotidien (g/j)
6-7 mois	Lait maternel + herbe	Céréales (maïs, orge) + tourteau soja	2 à partir de 90 jours	1600 - 1800 (naissance-sevrage)
10 mois	Foin récolté tôt, ou Ensilage de maïs (≥ 30 % MS)	Céréales (maïs, orge) + tourteau soja	5 - 5,5	1100 - 1400
12 mois	Foin récolté tôt, ou	Céréales (maïs, orge) + tourteau soja	3	1000 - 1300
	Ensilage maïs (≥ 30 % MS)		3,5 - 4	900 - 1100
	Ensilage d'herbe ressuyé (≥ 22 % MS) préfané (≥ 35 % MS)		3	900 - 1200
18 mois	Hiver Foin récolté tardivement	Céréales (maïs, orge) + Tourteau soja ou tourteau arachide	1 - 2	500 - 700
	Ensilage maïs (≥ 25 % MS)		1	
	Ensilage herbe ressuyé (≥ 22 % MS)		1 - 2	
	Eté Herbe + 150 unités d'azote/ha Rotation - Clôture électrique 2.5 animaux/ha avec ou sans boeufs	Maïs broyé	3 (60 derniers jours de pâturage)	800 - 1000
24 mois	1er Hiver / 1er Eté : Voir 18 mois	Voir 18 mois mais sans aliment concentré en été.		600 - 800
	2ème Hiver Ensilage de maïs (≥ 25 % MS)	Céréales (maïs, orge) + tourteau soja ou arachide	3.0	800 - 900
	" " (≥ 30 % MS)		2.0 - 2.5	
30 mois	1er Hiver / 1er Eté : Voir 18 mois	Voir 18 mois mais sans aliment concentré en été		500 - 700 800 - 1000
	2ème Hiver Foin récolté tardivement	Céréales (maïs, orge) + Tourteau soja ou d'arachide	0.5 - 1	200 - 300
	Foin récolté tardivement (50%MSI) + Paille (35 % MSI)		1 - 1.5	
	Ensilage de maïs (≥ 25 % MS)		0.5 - 1	
	Ensilage d'herbe (≥ 22 % MS)		1 - 1.5	
	2ème Eté Comme 18 mois	Sans aliment concentré		600 - 700

(1) Pendant la période expérimentale après adaptation aux régimes d'engraissement

(2) Distribué ad libitum

(3) MSI = Matière sèche totale ingérée

2. Production de poulains de 18-24 mois

Les poulains ne sont pas conduits pour réaliser dès le sevrage un croît proche du potentiel maximum de croissance. Ils ont pendant l'hiver qui suit le sevrage, une croissance modérée par le niveau d'alimentation limité, puis une croissance compensatrice élevée au pâturage (fig. 4). Les poulains sont abattus soit à 18 mois à la fin de la saison de pâturage à un poids vif de 550 à 580 kg et un poids de carcasse de 330-350 kg, soit à 22-24 mois après une finition à l'auge au cours d'un deuxième hiver à un poids vif de 630-660 kg (tabl. 3). Mais il y a des variations selon la race ou le sexe des animaux (35) ainsi que selon les conditions de pâturage (39).

* *Le poulain de 18 mois* doit être produit à partir d'un laiton qui a eu une bonne vitesse de croissance sous la mère (1400 à 1700 g/j) et donc sevré à un poids vif de 330 kg minimum.

Les animaux doivent avoir pendant l'hiver suivant le sevrage une croissance modérée de 600-700 g/j pour pouvoir tirer le meilleur parti de la croissance compensatrice à l'herbe (900-1100 g) (fig. 5). Les poulains sont entiers car si la castration ne diminue pas le potentiel de croissance des animaux et elle ne favorise pas significativement l'engraissement des poulains ; elle reste une opération coûteuse (39).

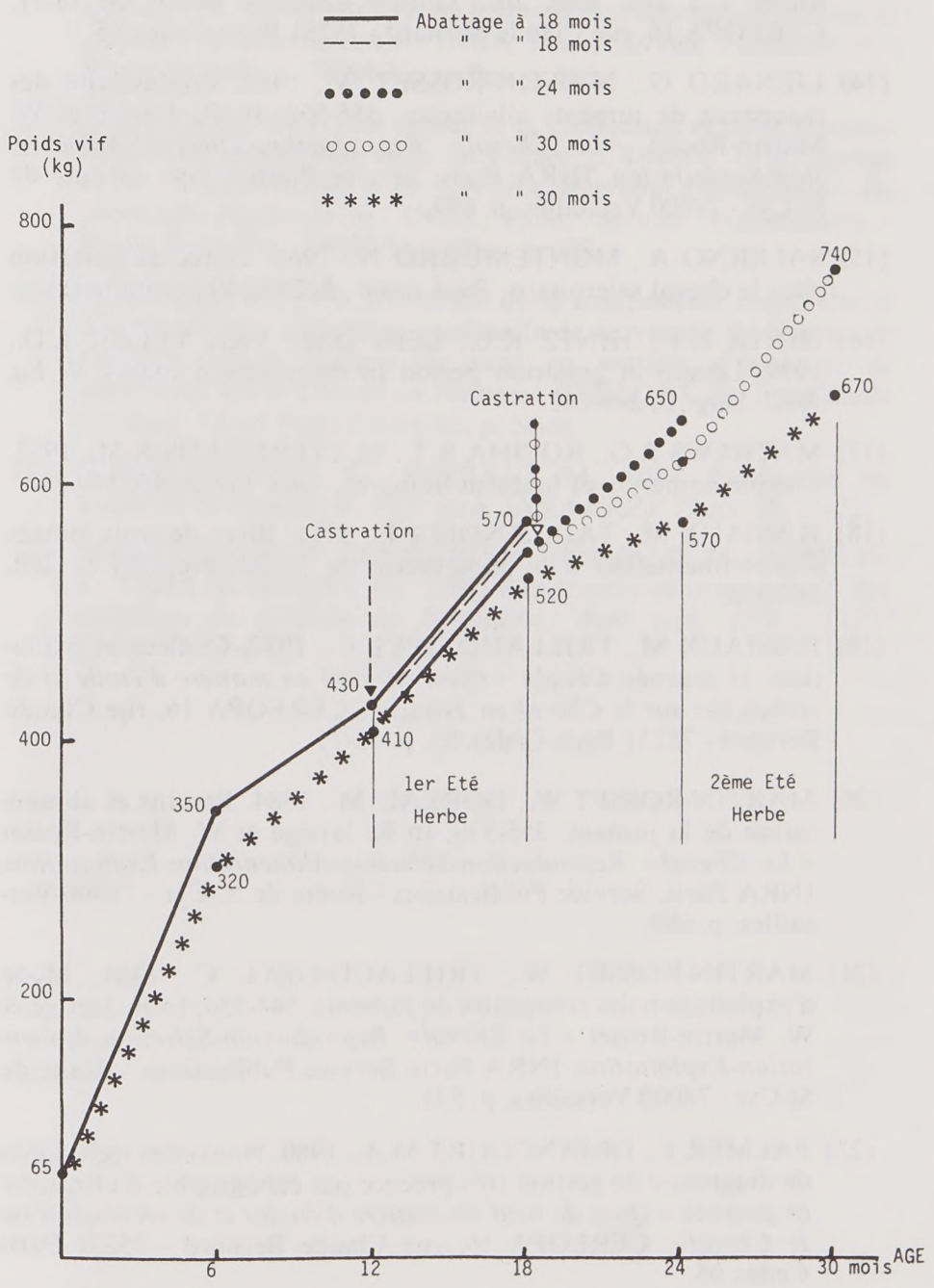


FIG. 5 : *Evolution du poids vif des poulains conduits en système semi-intensif et extensif*
(d'après Martin-Rosset *et al.*, 1982)

L'hiver les poulains reçoivent soit des fourrages de bonne qualité comme l'ensilage de maïs ou de l'ensilage d'herbe distribué à volonté avec 5 à 15 p. 100 d'aliment concentré ; soit des fourrages de moins bonne qualité : foins récoltés tardivement, avec 15 à 20 p. 100 d'aliment concentré (tabl. 2). En été, ils peuvent exploiter en rotation des pâturages intensifs recevant 150 unités d'azote/ha, avec un chargement de 2,5 animaux/ha. Il faut distribuer 3 kg de maïs broyé/j/Al. au cours des 2 derniers mois de pâturage (15 août - 15 octobre) si on veut finir les animaux (39).

A l'herbe, les poulains peuvent être conduits seuls. La production de viande obtenue est de 350 à 450 kg/ha. Mais les poulains peuvent être associés avec des bœufs de 1 ou 2 ans dans un rapport variant de 1/1 à 1/3 : la production totale de viande à l'hectare est alors de 450 à 550 kg (39). Toutefois, il y a de grosses variations entre animaux et selon la productivité de la prairie (39).

* *Le poulain de 22-24 mois :* si les poulains sont trop légers au sevrage, moins de 330 kg, leur finition devra être réalisée à l'auge au cours d'un 2e hiver entre 18 à 22-24 mois, avec une ration à base de fourrages de bonne valeur alimentaire et comprenant 25 p. 100 d'aliment concentré (tabl. 2-4). Les poulains sont castrés à 18 mois. La durée de la finition et le niveau d'alimentation hivernale optimale dépendent du niveau de croissance antérieure, voire de la race. Ils restent à préciser (fig. 5).

La viande produite à 18 ou 22-24 mois est moins tendre mais plus rouge qu'à 12 mois (37).

Ces types d'animaux peuvent être produits en zones herbagères où l'on dispose de surfaces fourragères intensifiées et où on peut assurer des bonnes conditions de pâturage. Les animaux peuvent être alimentés pendant l'hiver à partir des ressources alimentaires récoltées sur l'exploitation.

3. Poulains de 30 mois

Ils concernent exclusivement des poulains de 30 mois castrés à 18 mois. Ils peuvent être éventuellement étendus à des pouliches non conservées, mises à la saillie à 2 ans et qui n'ont pas rempli ou à des femelles abattues à 40 mois parce qu'elles n'ont pas été de nouveau fécondées après une première mise-bas.

Dans la plupart des cas, l'âge d'abattage est 30 mois, il s'agit surtout de poulains qui sont abattus à un poids vif supérieur à 700 kg et qui peuvent fournir une carcasse pesant 430 à 460 kg (tabl. 3).

Le niveau d'alimentation doit être limité pendant les hivers car il faut assurer, au moindre coût, l'entretien et une faible croissance 500-700 g au cours du 1er hiver, 200-300 g au cours du 2e hiver pour qu'il tire bien partie de l'herbe en particulier au printemps en réalisant une croissance élevée : 700 à 800 g/j au cours du 1er été, 600 à 800 g au cours du 2e été (fig. 5).

Ce type d'animal valorise bien la production d'herbe grâce à une capacité d'ingestion élevée. Il est néanmoins préférable de l'associer à des bœufs pour éviter l'apparition de zones de refus à partir du 2e cycle d'exploitation et utiliser au maximum l'herbe produite. Son coût de production peut être inférieur à celui du poulain de 12 mois car il est abattu à un poids vif très supérieur à celui obtenu à 12 mois.

Dans nos essais le gain de poids vif total produit à l'hectare a varié de 400 à 600 kg. Il est d'autant plus élevé que les chevaux sont associés à des bœufs. Les poulains de 30 mois peuvent être finis facilement à l'herbe sans céréales car le pourcentage de tissus adipeux dans le corps entier s'accroît fortement avec le poids (42). La viande produite est plus tendre qu'à 24 mois mais pas plus qu'à 12 mois. Elle a une couleur rouge comme chez le cheval adulte (37).

Ce système de production n'est actuellement pas encore très répandu car il se heurte au problème de l'immobilisation du capital. Par ailleurs, pour que ce type d'animal soit produit il faut que sa viande soit vendue plus cher que celle du jeune poulain, en raison de sa qualité et parce qu'il nécessite une plus grande technicité de la part de l'éleveur que dans le cas des systèmes intensifs en particulier.

Toutefois, la production d'un tel type d'animaux peut s'envisager en complément des bovins, soit dans des zones herbagères, soit dans des zones difficiles où les pâturages ont une faible valeur et ne sont pas utilisés au maximum de leurs potentialités par les ruminants.

Conclusion

Il est possible d'accroître le nombre de poulains sevrés et commercialisables par troupeaux de juments existants de 30 à 35 p. 100, grâce à la mise en œuvre de nouvelles techniques de reproduction et de nouveaux systèmes d'élevage.

L'accroissement de l'effectif de juments, en particulier dans les zones marginales où des surfaces ne sont pas utilisées (1 million d'ha) ou exploitées seulement au 3/4 de leurs potentialités (44) devrait permettre d'augmenter plus encore le nombre de poulains disponibles pour l'engraissement.

Les poulains peuvent être mieux utilisés pour en tirer le maximum de viande par tête ou par hectare. Les progrès réalisés dans les domaines de l'alimentation, des caractéristiques des carcasses et des viandes de cheval permettent actuellement en adaptant les systèmes mis au point pour les bovins à viande, de proposer des systèmes de production efficaces.

Références bibliographiques

(1) S.C.E.E.S., 1981. Notes de conjoncture productions animales. Ministère Agriculture, Paris.

(2) Service Haras, 1983. Statistique de la monte 1983. S.I.R.E. Pompadour, 40 p. Ministère Agriculture, Paris.

(3) JUSSIAUX M., 1984. Analyse statistique de la fertilité dans les élevages chevalins. 27-36, In R. Jarrige et W. Martin-Rosset, « *Le Cheval*» *Reproduction-Sélection-Alimentation-Exploitation.* INRA Paris, Service Publications - Route de St-Cyr - 78000 Versailles, p. 689.

(4) JUSSIAUX M, 1984. La monte en Station. 77-82, In R. Jarrige et W. Martin-Rosset, « *Le Cheval*» *Reproduction-Sélection-Alimentation-Exploitation.* INRA Paris, Service Publications - Route de St-Cyr - 78000 Versailles, p. 689.

(5) ROSSIER E., 1981. Le cheval de boucherie ou la façon moderne de conduire sa production et son avenir. *B.T.I.*, nº Spécial Cheval **363-363,** 581-586.

(6) PALMER E., 1984. L'insémination artificielle des juments: bilan de 5 années de recherches et d'utilisation pratique. 133-139,In R. Jarrige et W. Martin-Rosset « *Le Cheval*» *Reproduction-Sélection-Exploitation.* INRA Paris, p. 133-139.

(7) ARCHAMBAULT B., JUSSIAUX M., PALMER E., SIGNORET J.P., 1974. Méthodes de détection de l'oestrus chez la jument en liberté. *Ann. Zootech.*, **22** (3), 333-336.

(8) E.D.E. de Haute-Garonne, 1975. La production de viande chevaline en zone extensive sous-pyrénéenne. Ministère Agriculture DDA Hte-Garonne, 1-46.

(9) MARTIN-ROSSET W., PALMER E., 1977. Bilan de trois années de monte en liberté dans un troupeau de juments de trait. *Bull. tech. INRA-CRZV Theix*, **28,** 33-39.

(10) TRILLAUD-GEYL C., MARTIN-ROSSET W., JUSSIAUX M., 1984. La monte en liberté. 83-91, In R. Jarrige et W. Martin-Rosset « *Le Cheval*» *Reproduction-Sélection-Alimentation-Exploitation.* INRA Paris, Service Publications - Route de St-Cyr - 78000 Versailles, p. 689.

(11) JUSSIAUX M., TRILLAUD-GEYL C., 1976a. Mise à la reproduction à 2 ans. *Bull. Inf. Liaison. Chevaux Lourds,* **1,** 25-20. CEREOPA 16, rue Claude Bernard - 75231 Paris Cedex 05.

(12) MARTIN-ROSSET W., DUBROEUCQ H., LIENARD G., 1985. Saillie précoce à 2 ans des pouliches de races lourdes. *Bull. tech. INRA-CRZV Theix* (en préparation).

(13) JUSSIAUX M., TRILLAUD-GEYL C., 1976b. Gestation et poulinage à 3 ans. *Bull. Inf. Liaison Chevaux lourds,* **3,** 18-21. CEREOPA 16, rue Claude Bernard - 75231 Paris Cedex 05.

(14) LIENARD G., MARTIN-ROSSET W., 1984. Productivité des troupeaux de juments allaitantes. 555-562, In R. Jarrige et W. Martin-Rosset « *Le Cheval*» *Reproduction-Sélection-Alimentation-Exploitation.* INRA Paris, Service Publications - Route de St-Cyr - 78000 Versailles, p. 689.

(15) SALERNO A., MONTEMURRO N., 1966. Durée de gestation chez le cheval salernitain. *Prod. anim.*, **5,** 243-349 (en italien).

(16) HINTZ H.F., HINTZ R.L., LEIN D.H., VAN VLECK L.D., 1979. Length of gestation period in thoroughbred mares. *J. Eq. Med. Surg.*, **3,** 289-292.

(17) MATHEWS R.G., ROPIHA R.T., BUTTERFIELDS R.M., 1967. The phenomenon of foalheat in mares. *Aust. Vet. J.*, **45,** 579-582.

(18) JUSSIAUX M., TAILLANDIER F., 1971. Bilan de trois années d'expérimentation à la jumenterie de la Rivière. *B.T.I.*, **260,** 567-576.

(19) JUSSIAUX M., TRILLAUD-GEYL C., 1977. Chaleur et ovulation. 3e journée d'étude « *Quoi de neuf en matière d'étude et de recherches sur le Cheval en France*». CEREOPA 16, rue Claude Bernard - 75231 Paris Cedex 05, p. 72-75.

(20) MARTIN-ROSSET W., DOREAU M., 1984. Besoins et alimentation de la jument. 355-370, In R. Jarrige et W. Martin-Rosset « *Le Cheval*» *Reproduction-Sélection-Alimentation-Exploitation.* INRA Paris, Service Publications - Route de St-Cyr - 78000 Versailles, p. 689.

(21) MARTIN-ROSSET W., TRILLAUD-GEYL C., 1984. Mode d'exploitation des troupeaux de juments. 541-554, In R. Jarrige et W. Martin-Rosset « *Le Cheval*» *Reproduction-Sélection-Alimentation-Exploitation.* INRA Paris, Service Publications - Route de St-Cyr - 78000 Versailles, p. 541.

(22) PALMER E., DRIANCOURT M.A., 1980. Nouvelles techniques de diagnostic de gestion très précoce par échographie d'ultrasons. 6e journée « *Quoi de neuf en matière d'études et de recherches sur le Cheval*». CEREOPA 16, rue Claude Bernard - 75231 Paris Cedex 05.

(23) PALMER E., THIMONNIER J., LEMON M., 1974. Early pregnancy diagnosis in the mare in the peripheral blood. *Livest. Prod. Sci.*, **197,** 206.

(24) TERQUI M., PALMER E., 1979. Oestrogen pattern during early pregnancy in the mare. *J. Reprod. Fertil.*, Supplt., **27,** 441-446.

(25) PALMER E., SAINT-QUENTIN C., THIMONNIER J., 1975. Induction de l'oestrus et choix du moment de la saillie. *Prat. vét. equine,* **8,** 69-72.

(26) PALMER E., 1976. Nouvelle technique de synchronisation des chaleurs chez la jument. 3e journée d'étude « *Quoi de neuf en matière d'étude et de recherches sur le Cheval en France*». CEREOPA 16, rue Claude Bernard - 75231 Paris Cedex 05, p. 34-38.

(27) PALMER E., 1977. Premier essai de conduite d'une saison de monte sans détection de chaleur. 6e journée d'étude « *Quoi de neuf en matière d'étude et de recherches sur le Cheval en France*». CEREOPA 16, rue Claude Bernard - 75231 Paris Cedex 05, p. 81-85.

(28) LIENARD G., MARTIN-ROSSET W., 1977. Productivité des troupeaux de juments allaitantes. Méthode d'analyse et premiers résultats. *Bull. tech. INRA-CRZV Theix,* **28,** 23-31.

(29) MARTIN-ROSSET W., DOREAU M., CLOIX J., 1978. Etude des activités d'un troupeau de poulinières de trait et de leurs poulains au pâturage. *Ann. Zootech.,* **27,** 33-45.

(30) LOISEAU P., MARTIN-ROSSET W., BECHET G., 1980. Effects of domestic herbivores on botanical composition of hill pasture. F.E.H. Zagreb. Session VII, 79-86.

(31) MARTIN-ROSSET W., LOISEAU P., MOLENAT G., 1981. Utilisation des pâturages pauvres par le cheval. *B.T.I.,* N° Spécial Cheval, **362-263,** 587-608.

(32) Groupe Recherches INRA sur les Hauts pâturages des Monts-Dore, 1979. In G. Molenat et R. Jarrige « *Pâturages d'altitude et parcours méditerranéens*». INRA Paris, Service Publications - Route de St-Cyr - 78000 Versailles, p. 565.

(33) ROSSIER E., 1984. Etat actuel de la production et de la consommation de viande chevaline en France, p. 488-508. In R. Jarrige et W. Martin-Rosset « *Le Cheval*» *Reproduction-Sélection-Alimentation-Exploitation.* INRA Paris, Service Publications - Route de St-Cyr - 78000 Versailles, p. 689.

(34) BOCCARD R., 1976. Evolution de la composition corporelle et des principaux caractères qualitatifs de la viande de cheval. 2e journée d'étude « *Quoi de neuf en matière d'étude et de recherches sur le Cheval en France*». CEREOPA 16, rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05, p. 54-68.

(35) MARTIN-ROSSET W., JUSSIAUX M., 1977. Production de poulains de boucherie. *Bull. tech. INRA CRZV Theix,* **29,** 13-22.

(36) MARTIN-ROSSET, BOCCARD R., JUSSIAUX M., ROBELIN J., TRILLAUD-GEYL C., 1980. Rendement et composition des carcasses du poulain de boucherie. *Bull. tech. INRA-CRZV Theix,* **41,** 57-64.

(37) ROBELIN J., BOCCARD R., MARTIN-ROSSET W., JUSSIAUX M., TRILLAUD-GEYL C., 1984. Caractéristiques des carcasses et qualité des viandes. 601-610, In R. Jarrige et W. Martin-Rosset « *Le Cheval*» *Reproduction-Sélection-Alimentation-Exploitation.* INRA Paris, Service Publications - Route de St-Cyr - 78000 Versailles, p. 601-610.

(38) TRILLAUD-GEYL C., JUSSIAUX M., AGABRIEL J., MARTIN-ROSSET W., 1984. Méthodes de production et d'alimentation à l'auge du poulain en croissance et à l'engrais. 563-570, In R. Jarrige et W. Martin-Rosset « *Le Cheval*» *Reproduction-Sélection-Alimentation-Exploitation.* INRA Paris, Service Publications - Route de St-Cyr - 78000 Versailles, p. 689.

(39) MARTIN-ROSSET W., TRILLAUD-GEYL C., JUSSIAUX M., AGABRIEL J., LOISEAU P., BERANGER C., 1984. Exploitation de l'herbe par le cheval en croissance et à l'engrais. 583-599, In R. Jarrige et W. Martin-Rosset « *Le Cheval*» *Reproduction-Sélection-Alimentation-Exploitation.* INRA Paris, Service Publications - Route de St-Cyr - 78000 Versailles, p. 689.

(40) MARTIN-ROSSET W., ANDRIEU J., VERMOREL M., DULPHY J.P., 1984. Valeur nutritive des aliments pour le Cheval. 209-238, In R. Jarrige et W. Martin-Rosset « *Le Cheval*» *Reproduction-Sélection-Alimentation-Exploitation.* INRA Paris, Service Publications - Route de St-Cyr - 78000 Versailles, p. 689.

(41) AGABRIEL J., TRILLAUD-GEYL V., MARTIN-ROSSET W., JUSSIAUX M., 1982. Utilisation de l'ensilage de maïs par le poulain de boucherie. *Bull. tech. INRA-CRZV Theix,* **49,** 5-13.

(42) MARTIN-ROSSET W., BOCCARD R., JUSSIAUX M., ROBELIN J., TRILLAUD-GEYL C., 1983. Croissance relative des différents tissus, organes et régions corporelles entre 12 et 30 mois chez le cheval de boucherie de différentes races lourdes. *Ann. Zootech.,* **32,** 153-174.

(43) AGABRIEL J., LIENARD G., 1984. Facteurs technico-économiques influençant la production de poulains de 1 an. 571-582, In R. Jarrige et W. Martin-Rosset « *Le Cheval*» *Reproduction-Sélection-Alimentation-Exploitation.* INRA Paris, Service Publications - Route de St-Cyr - 78000 Versailles, p. 689.

(44) GUET J., 1979. Le domaine pastoral montagnard français, 24-43. In G. Molenat et R. Jarrige « *Pâturage d'altitude et parcours méditerranéen*». INRA Paris, Service Publications, Route de St-Cyr, 78000 Versailles, p.565.

(45) MARTIN-ROSSET W., JUSSIAUX M., TRILLAUD-GEYL C., AGABRIEL J., 1982. Horse meat production in France : Husbandry and production systems. *33e Annual Meeting EAAP* Leningrad, 16-19 août. Session IV : Horse products. 1-11.

(46) INRA, 1984. *Le Cheval : Reproduction-Sélection-Alimentation-Exploitation.* R. Jarrige et W. Martin-Rosset. INRA Paris - Service Publications - Route de St-Cyr - 78000 Versailles, p. 689.

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1985 (60) 43-58

Le mais brown midrib plante entière*

I. Caractéristiques générales

Y. BARRIERE[1], A. GALLAIS[2], L. HUGUET[1], R. TRAINEAU[1]

II. Utilisation sous forme d'ensilage par les taurillons

C. MALTERRE[3], G. BERTIN[1], A. GALLAIS[2], L. HUGUET[1], D. MICOL[3]
avec la collaboration de D. LECONTE[4], A. MULLER[5], J.R. PECCATTE[5]

III. Utilisation sous forme d'ensilage par les vaches laitières

A. HODEN[6], Y. BARRIERE[1], A. GALLAIS[2], L. HUGUET[1], M. JOURNET[6], A MOURGUET[1]

(1) INRA, Station d'Amélioration des Plantes fourragères - 86600 Lusignan
(2) INRA - CEBA, Gis Moulon - 91190 Gif-sur-Yvette
(3) INRA, Station des Productions bovines et chevalines - Theix - 63122 Ceyrat
(4) INRA, Domaine du Vieux Pin - 61310 Exmes
(5) INRA, Domaine du Pin-au-Haras - 61310 Exmes
(6) INRA, Station de Recherches sur la Vache laitière - Saint-Gilles - 35590 L'Hermitage

Les maïs « brown-midrib » se distinguent phénotypiquement des maïs « normaux » par la coloration brune de la nervure médiane de leurs feuilles. Depuis les premiers travaux de BARNES *et al.* (1971) et de MULLER *et al.* (1971), il est bien établi que les gènes brown-midrib qui sont au nombre de 4, et non allèles (bm_1, bm_2, bm_3, bm_4), diminuent la teneur en lignine dans les tiges et les feuilles. Le gène bm_3 est celui qui semble le plus efficace (MULLER *et al.*, 1971 ; COLENBRANDER *et al.*, 1972 ; LECHTENBERG *et al.*, 1972 ; EL TEKRITI *et al.*, 1976 ; GALLAIS, 1979) avec une réduction moyenne de la teneur en lignine voisine de 45 p. 100, suivi par le gène bm_1. Les gènes bm affectent également la composition chimique de la lignine (GEE *et al.*, 1968 ; KUC et NELSON, 1964). La teneur en cellulose des maïs bm_3 est peu affectée, mais semble en moyenne légèrement plus faible que celle des normaux, avec en revanche une teneur légèrement supérieure en hémicellulose, plus digestible par les animaux que la cellulose (MULLER *et al.*, 1972 ; COLENBRANDER *et al.*, 1972, 73, 75).

Des résultats sur animaux ont été obtenus aux USA avec des moutons, des génisses et des vaches laitières consommant des maïs bm_3 (MULLER *et al.*, 1972 ; COLENBRANDER *et al.*, 1973, 75), montrant une augmentation de la digestibilité des plantes entières comprise entre 0 et 6 p. 100, une augmentation des quantités ingérées comprise entre 0 et 15 p. 100 et une augmentation de la digestibilité de la cellulose, mesurée sur moutons, comprise entre 10 et 20 p. 100.

Dans le cadre du programme de sélection de variétés spécialisées maïs-fourrage entrepris à l'INRA, des essais ont été mis en place pour déterminer l'intérêt zootechnique des variétés bm_3 dans les conditions européennes où sont cultivées essentiellement des génotypes précoces et demi-précoces, avec des conditions de lignification probablement différentes de ce qui est observé dans des conditions plus continentales ou plus septentrionnales.

L'objet de ce texte est de présenter les principaux résultats portant sur les comparaisons de génotypes normaux et bm_3 réalisées essentiellement à l'INRA de Lusignan. Ces travaux ont porté sur les principales caractéristiques de valeurs culturales et alimentaires et sur l'utilisation des ensilages par les taurillons et les vaches laitières.

* Texte également présenté lors du colloque « *Maïs ensilage* » organisé par l'A.G.P.M. à Rennes, les 29 et 30 mai 1985.

I. Caractéristiques des génotypes de maïs bm3 dans les conditions centre-ouest de la France

Caractères agronomiques et composition morphologique

La croissance jusqu'à la floraison du maïs bm3 est très comparable à celle des génotypes classiques. Mais les variétés « reconverties » sous forme bm3 sont en moyenne plus tardives de 3-4 jours à floraison que leurs quasi-isogéniques normaux, avec une accumulation des produits de réserve dans le grain plus lente et plus faible pour les génotypes bm3. Ceci entraîne une plus faible proportion de grain dans les ensilages de maïs bm3 quand ils sont récoltés à la même date que les variétés normales. Le rendement en tiges n'est pas affecté et finalement le rendement en matière sèche plante entière est de 0 à 20 p. 100 inférieur selon les génotypes reconvertis sous forme bm3, l'effet de ce gène n'étant pas indépendant du contexte génétique dans lequel il est placé. De plus, une partie des différences de productivité observées entre variétés normales et bm3 résulte dans certains cas de production de semences de médiocre qualité pour les génotypes bm3. La verse en végétation, et surtout la verse à maturité ou à semi-maturité sont augmentées, en raison d'une moindre résistance mécanique des tiges, sans qu'une différence de qualité d'ancrage ait pu être vérifiée ; mais là encore, l'effet défavorable du gène bm3 sur la sensibilité à la verse dépend du contexte génétique, et certains génotypes ont un niveau de résistance tout à fait acceptable. Enfin, il ne semble pas que ce gène entraine une augmentation intrinsèque de la sensibilité à la pyrale (*Ostrinia nubilatis-Hubner*) puisque le nombre de larves se développant par plante en infestation artificielle est tout à fait comparable pour les formes normales et reconverties ; toutefois, en raison de la plus faible résistance mécanique des plantes, la casse est souvent plus importante sur les variétés bm3.

Caractères chimiques et valeur alimentaire des ensilages

Les caractéristiques fermentaires des ensilages de maïs normaux ou bm3 sont peu différentes si ce n'est les teneurs en acide lactique et en alcools totaux plus élevées de près de 20 p. 100 dans le cas des bm3 (moyenne 9 expérimentations).

La comparaison réalisée à Lusignan de deux hybrides reconvertis sous forme bm1 et bm3 met bien en évidence la valeur énergétique supérieure du gène bm3. Les digestibilités, mesurées sur moutons, de la matière organique et de la cellulose brute des maïs bm3 se situent à 104,9 et 119,0 p. 100 de celles observées pour les normaux, alors que celles des bm1 ne valent respectivement que 102,7 et 112,2 p. 100. Sur une moyenne de 10 expérimentations sur moutons (n = 68 comparaisons), le CUD de la matière organique des génotypes bm3 était augmenté de 2,4 points (73,8 contre 71,4), le CUD de la cellulose de 8,9 points (66,0 contre 57,1) et les quantités ingérées de 5,3 p. 100 (50,0 contre 47,5 gMS $P^{0,75}$) par rapport aux témoins normaux. Ces mêmes caractéristiques, observées pour chacun des essais faisant l'objet de ce rapport ont été rassemblées dans le tableau 1, avec quelques données agronomiques. Elles confirment les observations antérieures.

Objectifs actuels de sélection des variétés brown-midrib

Les génotypes brown-midrib étudiés ont été obtenus par au moins 7 rétrocroisements de chacune des lignées constitutives d'hybrides commerciaux après un croisement initial par un géniteur bm3 ou bm1. L'effet assez défavorable sur les performances agronomiques de la reconversion d'un génotype pour un caractère particulier est bien connu. Il peut correspondre à un effet direct du gène, qu'il faudra alors atténuer en sélectionnant une série de modificateurs qui ne perturbent que faiblement le caractère initialement recherché. Il peut aussi correspondre à un déséquilibre de la balance interne du génome lié à la présence d'un nouveau linkat qu'il faudra là aussi atténuer en sélectionnant un environnement génétique adapté à ce linkat (DEMARLY, 1977). Des synthétiques bm3 ont été créés par A. GALLAIS à partir de matériel normal assez variable et des premières lignées reconverties, et sont conduites en sélection récurrente pour tenter d'adapter les génomes au gène bm3. Les résultats du premier cycle de sélection laissent penser qu'il est possible d'obtenir des hybrides bm3 dont le rendement égale les témoins classiques, avec toutefois une tardiveté un peu supérieure. Au cours de ces cycles d'amélioration de la valeur agronomique, des analyses de digestibilité des génotypes en sélection sont indispensables pour éviter une perte corrélative de qualité. Les essais réalisés sur animaux avec la variété INRA 188 bm3 laissent penser que l'expression du gène bm3 se fait mal dans ce génome, défaut qui semble lié au parent mâle de l'hybride (F186bm). Des travaux sont également conduits à une moindre échelle avec du matériel bm1, moins amélioré en qualité, mais dont les performances agronomiques semblent nettement moins affectées.

II. Utilisation sous forme d'ensilage par les taurillons[1]

Au cours de 5 essais réalisés à la Station d'Amélioration des Plantes fourragères de Lusignan de 1976 à 1981 nous avons comparé 7 ensilages de maïs de type Brown midrib (bm3) à des ensilages normaux (N) de même variété et quasi isogéniques. Ces ensilages ont été distribués à volonté à des taurillons durant toute leur période d'engraissement.

(1) Les différents essais récapitulés dans ce chapitre ont déjà fait l'objet des mémoires de fin d'études suivants : J.P. AUBERT (ESA Purpan), Christine HEDOUX (DEA de Zootechnie de Montpellier) et Virginie ANDRE-BERTIN (ISAB Beauvais), au cours des stages qu'ils ont effectués à la Station des Productions bovines et chevalines à Theix ou à la Station d'Amélioration des Plantes fourragères à Lusignan.

TABLEAU I

Principales caractéristiques des maïs en vert et des ensilages utilisés lors des essais réalisés sur bovins

	Vaches laitières (1)		Taurillons (2)		Taurillons (3)		Taurillons (4)	
	Variétés Normales	Variétés bm_3	Variétés Normales	Variétés bm_3	INRA 188 Normales	INRA 188 bm_3	INRA 188 Normales	INRA 188 bm_3
Densité de culture (pl./ha)	75.000	75.000	75.000	75.000	80.000	90.000	100.000	100.000
Ecart à la floraison (jours)	0	3,6	0	2,7	0	3		
Ecart à la récolte (jours)	0	3,6	0	1,6	0	1		
Teneur en matiere sèche								
- lors de la mise en silo	34,4	35,0	-	-	26,5	23,1	22,8	19,6
- de l'ensilage distribué	33,5	34,5	35,8	35,0	-	-		
Contribution du grain (p.100 MS)	44,0	42,9	42,2	42,3	33,7	30,0		
MAT à la mise en silo (p.100 MS)	8,4	8,7	9,4	9,6				
Cellulose à la mise en silo (p.100 MS)	19,1	17,9	19,8	19,4				
Digestibilité de l'ensilage en p.100*								
- matière sèche					66,6	68,0		
- matière organique	68,5	73,3	71,0	73,0			70,2	71,5
- cellulose brute	54,9	63,8	54,6	64,6				
Matière sèche volontairement ingérée (g MS/kg $P^{0,75}$)	44,9	47,5	47,7	48,8	44,8	48,0	47,3	47,4
Valeur énergétique (Par kg de MS)								
- UFL	0,82	0,90	-	-				
- UFV	-	-	0,80	0,84				

* mesurée sur moutons

(1) moyenne des 5 ensilages utilisés au cours des 6 essais réalisés à Lusignan de 1977 à 1981 (cf tableau 5)

(2) moyenne des 7 ensilages utilisés au cours des 7 comparaisons réalisées à Lusignan de 1976 à 1981 (cf tableau 2)

(3) le Vieux-Pin 1979-80 (cf tableau 4)

(4) le Pin-au-Haras 1977-78 (cf tableau 4)

TABLEAU 2

Utilisation d'ensilages de maïs bm3 par les taurillons
Principales conditions expérimentales (Lusignan 1976 à 1981)

Schéma expérimental

- 1 à 2 mois et demi de pré-expérience sur un même régime à base d'ensilage de maïs
- 2 à 4 semaines d'adaptation au régime expérimental : ensilage de maïs normal ou ensilage de maïs bm_3 de même variété + une même quantité de tourteau de soja (1,10 à 1,25 kg brut)
- 110 à 252 jours d'expérience sensu stricto, la durée de cette période étant déterminée par la recherche d'un même poids de carcasse moyen.

Animaux

- Taurillons Salers, Charolais x Normands, Charolais x Salers ou Charolais achetés à l'âge de 8-10 mois et entrés en expérience 2 à 3 mois plus tard

Régimes expérimentaux

⁂ Ration de base :

- Ensilage de maïs plante entière à volonté, variétés : INRA 260 (1976-77-78), LG 11 (1976 et 1980), INRA 188 (1977) et INRA 400 (1979)
- Minéraux : 150 g d'un CMV type 14-16 ou 7-17

⁂ Complémentation (kg) :

- A même niveau de complémentation (4 premiers essais - 6 comparaisons)

	1976-77	1977-78	1978-79	1979-80
tourteau de soja (kg brut)	1,10	1,15	1,10	1,25

- A niveau de complémentation différent (5ème essai, 1980-81)

	Lot N	Lot bm_3
tourteau de soja	0,65	0,65
urée	70 puis 100	puis 130 g (115 g en moyenne)
orge	1,15	-

Aliments

⁂ Caractéristiques des ensilages de maïs :

	MS (p.100)	Grains (p.100)	pH	C.U.D. mat. organique (p.100) (1)
INRA 260 (N)	37,5	45,4	4,2	74,2
1976 (bm_3)	37,1	46,2	4,3	75,4
LG 11 (N)	34,2	43,5	4,1	72,8
1978 (bm_3)	36,3	44,7	4,2	75,5
INRA 260 (N)	38,9	49,6	4,0	72,9
1977 (bm_3)	38,1	48,3	4,1	72,7
INRA 188 (N)	37,9	48,7	4,1	74,0 (3)
1977 (bm_3)	34,2	44,0	4,1	74,0
INRA 260 (N)	36,4	41,1	4,0	69,0
1978 (bm_3)	33,7	35,6	3,9	71,1
INRA 400 (N)	32,6	36,1	4,0	66,4
1978 (bm_3)	31,2	34,2	4,0	70,2
LG 11 (N)	33,1	41	3,9	67,6
1980 (bm_3)	33,5	43	3,9	72,4

⁂ Valeur nutritive :

par kg de MS	UFV(2)	MAT p.100	CB p.100	PDIN g	PDIE g
. ensilage de maïs					
INRA 260 (N)	0,84	10,9	20,3	61	75
1976 (bm_3)	0,87	10,5	19,7	59	78
LG 11 (N)	0,82	10,4	20,1	58	73
1976 (bm_3)	0,87	10,3	20,4	59	78
INRA 260 (N)	0,84	8,1	17,8	52	78
1977 (bm_3)	0,83	8,5	18,0	53	77
INRA 188 (N)	0,86 (3)	8,3	16,8	52	78
1977 (bm_3)	0,86 (3)	8,6	16,5	53	77
INRA 260 (N)	0,77	8,7	17,6	55	75
1978 (bm_3)	0,80	9,0	17,7	57	76
INRA 400 (N)	0,70	8,9	23,4	55	66
1979 (bm_3)	0,78	9,6	22,3	60	76
LG 11 (N)	0,74	8,8	25,0	55	70
1980 (bm_3)	0,84	8,8	21,5	55	73
. Tourteau de soja	1,19	53,8	4,5	385	285
. Urée	-	287,5	-	1610	-
. Orge	1,16	11,7	5,4	82	103

Logement

Stabulation libre sur aire paillée par lots de 6 animaux dans un batiment ouvert uniquement au Sud Est.

Mesures

- Ingestion : quantités distribuées et refusées tous les jours pour les 4 premiers essais et 4 jours par semaine pour le 5ème essai (teneur en MS des ensilages 4 ou 5 jours par semaine)
- Poids vif : pesée des animaux 2 jours consécutifs lors de la mise en lot ainsi qu'en début et en fin d'expérience, simple pesée tous les 14 jours dans l'intervalle
- A l'abattage : pesée de la carcasse chaude, détermination du rendement de carcasse, dissection de la 6-8-9 ou 10ème côte pour estimer la composition de la carcasse.

(1) Digestibilité mesurée sur moutons.
(2) Calculée à partir de la digestibilité mesurée sur moutons.
(3) La maïs bm_3 n'est sans doute pas isogénique avec la forme Normale

Lors des 4 premiers essais, les deux types d'ensilage (N et bm3) ont été complémentés avec une même quantité d'aliments concentrés, tourteau de soja exclusivement. L'objectif était, en effet, d'estimer leurs valeurs alimentaires (ingestibilité et valeur nutritive) à partir des performances de croissance et d'engraissement des taurillons.

Lors du dernier essai, nous avons pris en compte les résultats obtenus précédemment sur taurillons et comparé ainsi les deux types d'ensilage à un niveau de complémentation différent avec l'objectif d'obtenir les mêmes performances des taurillons durant leur finition.

Conditions expérimentales

Les taurillons utilisés dans ces essais étaient de diverses races ou croisements : Salers ; Charolais × Normand, Charolais × Salers, Charolais purs. Achetés après sevrage à l'âge de 8-10 mois, l'ensemble des animaux a alors reçu une même alimentation à base d'ensilage de maïs avant la période expérimentale.

Lors de la mise en lot, les taurillons ont été répartis en 2 lots de 6 à 12 taurillons selon les années, sur la base du poids vif en début d'essai et de leur croissance antérieure. Ils ont été conduits par cases de 6 en stabulation libre sur aire paillée, les quantités ingérées par les animaux de certains lots ayant pu être contrôlés individuellement grâce à un système de portillons électroniques.

Au cours des 4 premiers essais nous avons comparé des ensilages de maïs normaux à des ensilages de maïs bm3 des variétés INRA 260, LG 11, INRA 188 et INRA 400. Le niveau de complémentation en tourteau de soja des ensilages a été identique intra-comparaison et a varié de 1,10 à 1,25 kg de matière brute selon les années. En 1980-81 (cinquième essai), nous avons utilisé la variété LG 11 ; la complémentation azotée a été identique pour les deux types de maïs (N et bm3), soit 0,65 kg de tourteau de soja et 115 g d'urée, en revanche la complémentation énergétique était différente : 1,15 kg d'orge supplémentaire pour le maïs normal contre un apport nul pour le maïs bm3.

Dans tous ces essais les animaux ont par ailleurs reçu quotidiennement 150 g de complément minéral.

Au total 115 taurillons ont participé à ces 5 essais et la durée moyenne des périodes expérimentales a varié de 110 à 252 jours selon les comparaisons et les lots.

Les principales conditions expérimentales de ces essais et notamment celles se rapportant aux caractéristiques des animaux et des aliments ainsi que les mesures réalisées sont présentées au tableau 2. Les résultats par comparaison ainsi que les résultats moyens sur les 4 premiers essais figurent au tableau 3.

Résultats

1. A même niveau de complémentation (4 premiers essais)

Les effectifs mis en jeu au sein de chacune des 6 premières comparaisons étant faibles, nous avons regroupé pour l'analyse et la présentation des résultats l'ensemble des données correspondantes. Elles portent sur respectivement 46 et 47 animaux pour les lots normaux et bm3.

Pour des quantités de tourteau identiques (1 kg de MS de soja en moyenne) apportées en plus des ensilages distribués à volonté, les taurillons recevant les maïs de type bm3

a) ont eu un niveau d'ingestion plus élevé.

Les animaux recevant le maïs bm3 ont en moyenne consommé 0,57 kg de matière sèche de plus d'ensilage que ceux recevant le maïs normal (7,95 contre 7,38 kg de MS) soit 7,7 p. 100 de plus. L'ingestion moyenne, exprimée en kg de MS par 100 kg de poids vif, a donc été pour la ration totale plus élevée pour le maïs bm3 que pour le maïs normal : soit 1,82 contre 1,72.

L'ingestibilité plus grande du maïs bm3 et sa valeur énergétique plus élevée, mise en évidence par les mesures de digestibilité obtenues sur moutons, traduisent clairement la supériorité de valeur alimentaire des maïs bm3 sur les maïs normaux. Il en découle un accroissement théorique du niveau énergétique de la ration journalière des taurillons de 0,70 UFV. En conséquence, le supplément de gain de poids attendu (INRA, 1978) serait de près de 200 g/jour avec ce type de maïs, le tiers approximativement étant dû à la valeur énergétique (+ 0,03 UFV/kg de MS) et les deux autres tiers à la meilleure ingestibilité (+ 0,6 kg MS).

b) ont réalisé un gain de poids supérieur.

En moyenne, les croissances des taurillons recevant le maïs bm3 ont été supérieures de près de 200 g (+ 15,7 p. 100) à celles des taurillons qui ont reçu le maïs normal (respectivement 1463 et 1265 g par jour). Mais ce résultat moyen, bien que très significatif ($P < 0,001$), correspond à des différences importantes selon les génotypes de maïs. La comparaison avec INRA 188 ne permet pas en particulier de distinguer les formes N et bm3 au niveau des performances animales.

c) ont fourni des carcasses de même poids après une période d'engraissement plus courte.

Les taurillons recevant le maïs bm3 ont fourni des carcasses aussi lourdes et presque aussi grasses que celles des animaux ayant reçu le maïs normal (337 kg net) bien que leur durée d'engraissement ait été inférieure en moyenne de 15 jours (155 contre 170 jours). Ce résultat est à relier directement aux performances de croissance supérieures des animaux des lots bm3. Cependant, cette amélioration du gain de poids vif doit être nuancée. En effet à l'abattage, nous avons observé une légère différence de rendement en carcasse entre les animaux des deux traitements : respectivement 56,5 et 55,8 p. 100 pour les lots N et bm3.

De ce fait, l'amélioration du gain de carcasse des animaux des lots bm3 est relativement moins importante (+ 11,5 p. 100) que celle du gain de poids vif (15,7 p. 100). Elle reste cependant significative au seuil de 1 p. 100 (890 contre 798 g/jour).

d) ont été plus efficaces.

Globalement, les animaux ayant reçu le maïs bm3 ont ingéré un peu plus d'ensilage et ont réalisé des performances de croissance notablement supérieures durant la période d'engraissement. Il en résulte que leur efficacité alimentaire,

TABLEAU 3

Utilisation comparée d'ensilages de maïs normaux (N) et brown midrib (bm3) par les taurillons à l'engrais (Lusignan 1976-1981)

			Nombre d' animaux	POIDS VIF et CROISSANCE					QUANTITES INGEREES (kg MS/jour)							RESULTATS D'ABATTAGE		
				Poids initial (kg)	Poids final (kg)	Gain de poids vif (g/j)	Durée (j)	Gain de carcasse (g/j)	Ensil. maïs	Tourt. soja	Orge	Ration totale	Efficacité alimentaire QI/100 kg de poids vif	g gain PV /kg MS	g gain carc. /kg MS	Poids de carcasse froide (kg)	Rendement économique (%)(1)	Gras dans la carcasse (%)(2)
même complémentation	1976 - 77	INRA 260 N	6	413	581	1223	138	758	7,77	0,94	-	8,71	1,75	140	87	326	56,0	15,9
		INRA 260 bm_3	6	415	590	1595**	110	928*	8,81	0,94	-	9,75	1,94	164**	95	322	54,5**	15,9
	Salers	LG 11 N	6	402	585	1330	138	793	7,66	0,94	-	8,60	1,74	155	92	324	55,4	18,1
		LG 11 bm_3	6	410	579	1545*	110	850	8,44	0,94	-	9,38	1,90	165	91	311	53,6*	16,6
	1977 - 78	INRA 260 N	6	316	559	1219	200	750	6,42	1,00	-	7,42	1,70	164	101	310	55,4	15,5
		INRA 260 bm_3	6	308	568	1301	200	790	7,16*	1,00	-	8,16	1,86**	160	97	314	55,3	15,8
	Charolais x Normand	INRA 188 N	6	314	585	1358	200	881	7,20	1,00	-	8,20	1,83	166	107	334	57,2	16,1
		INRA 188 bm_3	6	313	582	1345	200	864	6,75	1,00	-	7,75	1,73	174	111	331	56,8	14,0
	1978 - 79 Charolais x Salers	INRA 260 N	12	463	651	1120	168	777	7,71	0,97	-	8,68	1,56	129	90	379	58,2	18,1
		INRA 260 bm_3	12	465	668	1532***	133	978***	8,58***	0,97	-	9,55	1,69	161	103	382	57,1	16,7
	1979 - 80 Charolais x Salers	INRA 400 N	10	385	620	1342	175	829	7,50	1,10	-	8,73	1,74	154	95	351	56,7	14,5
		INRA 400 bm_3	11	381	636	1462	175	927	7,95	1,10	-	9,18	1,81	159	101	365	57,4	15,7
	Moyenne des 6 comparaisons	N	46	382	597	1265	170	798	7,38	0,99	-	8,39	1,72	150	95	337	56,5	16,4
		bm_3	47	382	604	1463***	155	890**	7,95	0,99	-	8,96	1,82	163	99	337	55,8	15,9
		Δ				+198	-15	+92	+0,57				+0,10	+13	+4		-0,7	
		(%)				(15,7)		(11,5)	(7,7)					(8,7)	(4,2)			
compl. ≠	1980 - 81 Charolais	LG 11 N	12	342	651	1227	252	761	6,81	0,57	0,99	8,63	1,75	144	88	386	59,2	14,4
		LG 11 bm_3	10	340	658	1298	245	793	7,87	0,57(3)	-	8,71	1,75	149	91	387	58,8	15,4

*, **, *** différences significatives aux seuils de 5 %, 1 % et 1 % respectivement.

(1) le rendement économique est défini comme le rapport entre le poids de carcasse froide et le poids vif final.

(2) le pourcentage de gras dans la carcasse a été estimé à partir de celui de la 6ème ou 11ème côte (Robelin et Geay, 1975a et 1975b).

(3) la ration apportait par ailleurs 115 g d'urée.

exprimée en g de gain de poids vif par kg de MS ingérée, est supérieure (+ 8,7 p. 100) à celle des animaux qui ont reçu le maïs normal : en moyenne 163 g et 150 g respectivement. Il en est de même, mais de façon plus atténuée (4,2 p. 100) si l'on exprime l'efficacité alimentaire par le rapport entre le gain de carcasse journalier des animaux et la matière sèche qu'ils ingèrent au cours de la période expérimentale.

2. Niveau de complémentation différent (5e essai)

Le but de cet essai étant d'obtenir des performances de croissance identiques chez des taurillons recevant à volonté de l'ensilage de maïs bm3 ou normal, nous avons calculé les niveaux de complémentation nécessaires pour atteindre cet objectif. Ce calcul a été effectué en tenant compte des résultats observés précédemment (4 premiers essais) tant au niveau de l'amélioration de la digestibilité des maïs bm3 mesurée sur moutons (+ 1,5 point), que de l'accroissement de son ingestibilité (+ 7 à 8 p. 100) et que de la substitution entre l'ensilage et le concentré. Ainsi, nous avons estimé que l'utilisation d'un ensilage de maïs de type bm3 devait permettre d'économiser 1 kg de MS d'orge. Le maïs bm3 a été complémenté avec seulement un concentré azoté et le maïs normal avec 1,15 kg d'orge en plus.

Dans ces conditions, les taurillons recevant l'ensilage de maïs de type bm3

a) ont augmenté fortement leur ingestion d'ensilage.

Le niveau d'ingestion de maïs bm3 a été plus élevé de 1,1 kg de MS soit 12 p. 100 par rapport au maïs normal (1,58 contre 1,37 kg de MS par 100 kg de poids vif). En revanche, les quantités totales de matière sèche ingérées ont été identiques (1,75 kg de MS/100 kg P.V.). Les proportions de concentré dans la ration ont été de 7 (bm3) et 18 p. 100 (N).

Cette différence d'ingestion en ensilage est due à la fois à la meilleure ingestibilité du bm3 et à la réduction de l'apport de concentré. On sait en particulier qu'avec des ensilages de maïs normaux (MALTERRE, 1976), de teneur en MS supérieure à 30 p. 100, les taurillons ingèrent 0,55 à 0,60 kg de MS d'ensilage en plus par kg de concentré en moins. Dans cet essai, on peut donc considérer que la différence d'ingestion en ensilage proviendrait pour environ 0,6 kg du phénomène de substitution entre l'ensilage et le concentré et pour 0,5 kg de l'ingestibilité supérieure du maïs bm3. Cette dernière valeur serait donc très comparable à celle observée en moyenne dans les essais précédents.

b) ont eu un gain de poids légèrement supérieur.

Le gain de poids vif journalier des taurillons qui ont reçu l'ensilage de maïs bm3 a été sensiblement plus élevé (+ 70 g/jour) que celui de leurs homologues au maïs normal (1298 contre 1227 g/jour) mais la différence n'est pas significative.

c) ont fourni des carcasses de même poids.

L'ensilage de maïs bm3 a permis de produire des carcasses aussi lourdes (387 kg net) que celles provenant des taurillons qui ont reçu l'ensilage de maïs normal (386 kg) plus complémenté. Mais les animaux du lot bm3 ont été abattus une semaine plus tôt avec un état d'engraissement légèrement supérieur.

d) ont été aussi efficaces.

L'efficacité alimentaire des animaux recevant le maïs bm3 a été équivalente à celle des taurillons au maïs normal plus complémenté, que celle-ci soit exprimée en g de gain de poids vif ou en g de gain de carcasse par kg de MS ingérée. Cela traduit le fait que dans cet essai l'écart de complémentation en orge a encore été insuffisant pour compenser l'amélioration de la valeur alimentaire du maïs bm3. L'augmentation théorique de la valeur énergétique de ce maïs, calculée d'après les résultats de digestibilité obtenus sur moutons, a en particulier atteint 0,10 UFV/kg de MS et correspond à une valeur très supérieure à la moyenne des écarts observés dans les précédents essais. Le maïs bm3 a aussi été mieux ingéré (+ 1,1 kg de MS). Le niveau des apports énergétiques a de ce fait été supérieur de 0,40 UFV par rapport à celui observé avec le maïs normal. Il correspond à un supplément de gain de poids vif théorique de l'ordre de 100 g par jour, ce qui semble être en accord avec les résultats réellement observés sur les animaux.

Discussion - Conclusion

Les résultats acquis sur taurillons à l'engrais au cours de ces différents essais confirment tout d'abord les données classiques obtenues avec des ensilages de maïs normaux (MALTERRE, 1976). Ainsi, avec seulement 1,15 kg de tourteau de soja, l'ingestion d'ensilage a atteint en moyenne 7,4 kg de MS (1,5 kg de MS par 100 kg P.V.) avec une teneur moyenne en matière sèche de 36 p. 100. De plus, les performances de croissance des taurillons de précocité moyenne (Salers ou croisés Charolais) ont été très satisfaisantes, 1265 g par jour, eu égard au faible niveau de complémentation des ensilages (seulement 12 p. 100 de concentré dans la MS totale ingérée).

En ce qui concerne les ensilages de maïs de type bm3, les 4 premiers essais réalisés à même niveau de complémentation ont permis de mettre en évidence une meilleure ingestibilité de ces maïs (+ 0,6 kg de MS). Cette ingestibilité supérieure se traduit par une valeur d'encombrement des maïs bm3 plus faible en moyenne de 7,5 p. 100 par rapport à celle des maïs normaux de caractéristiques voisines (35 et 36 p. 100 de MS - 42 et 44 p. 100 de grains respectivement). Ce résultat est tout à fait en accord avec les données de la bibliographie bien que ces dernières soient encore très peu nombreuses sur les animaux en croissance et à l'engrais (COLENBRANDER, 1973a, 1973b, 1975).

Cette augmentation d'ingestibilité en faveur des maïs bm3 s'est traduite au niveau des taurillons par des performances de croissance sensiblement plus élevées, de l'ordre de 200 g de gain de poids vif par jour en plus.

Malgré une diminution moyenne de 0,7 point du rendement en carcasse des animaux recevant le maïs bm3 (due à l'augmentation des quantités ingérées et donc du contenu digestif au moment de l'abattage), l'amélioration du gain de carcasse journalier reste encore très importante, de l'ordre de 11 à 12 p. 100, et a permis de raccourcir la période d'engraissement de 15 jours en moyenne tout en produisant des carcasses de même poids.

Enfin, l'amélioration des performances en croissance compensant largement l'augmentation des quantités ingérées, l'efficacité alimentaire des animaux recevant le maïs bm3 se trouve

de ce fait elle aussi notablement améliorée (près de 9 p. 100 par rapport au gain de poids vif et plus de 4 p. 100 par rapport au gain de carcasse). Elle correspond à un accroissement de la valeur énergétique des ensilages de maïs bm3 de 0,03 à 0,04 UFV/kg de MS par rapport au maïs normal ; résultat moyen qui se trouve parfaitement en accord avec les données de digestibilité obtenues sur moutons. Cependant, ces dernières données sont très variables selon les différentes comparaisons puisque les écarts de digestibilité entre types de maïs vont de — 0,01 à + 0,08 UFV/kg de MS.

Les résultats acquis sur taurillons au cours de ces 4 essais, conduits à même niveau de complémentation, semblent plus intéressants et constants en faveur du maïs bm3 que ceux obtenus par l'ITCF lors d'un essai réalisé à Boigneville sur taurillons Montbéliards (RAYMOND, CITRON, 1982). Les maïs utilisés au cours de cet essai étaient de variété LG 11 et INRA 258 ; mais par suite d'une rupture de stock en ensilage l'essai s'est terminé vers 510-520 kg de poids vif et les animaux n'ont pu être abattus sur leurs régimes expérimentaux. On peut toutefois dégager les tendances suivantes : — avec la variété LG 11, le gène bm3 a entrainé un accroissement de l'ingestibilité de l'ensilage d'environ 8 p. 100, mais la vitesse de croissance a augmenté de seulement 3 p. 100 ; — avec la variété INRA 258, l'accroissement d'ingestibilité de l'ensilage bm3 n'a été que de 3 p. 100 mais la vitesse de croissance a augmenté de 8 p. 100 (+ 100 g/jour environ). Globalement dans cet essai l'effet du gène bm3 semble donc moins important que celui que nous avons pu observé à Lusignan et ne se traduit pas en moyenne par une modification notable de l'efficacité alimentaire.

Les résultats du 5e essai que nous avons réalisé sur l'utilisation comparé d'un ensilage de maïs bm3 plus faiblement complémenté qu'un maïs normal (— 1,15 kg d'orge) nous ont permis de confirmer l'ingestibilité supérieur du maïs bm3 et le maintien, voire même l'amélioration légère, des performances des animaux. Ainsi, pour un poids de carcasse identique, les taurillons du lot bm3 ont consommé en moyenne 213 kg de MS d'ensilage en plus et 290 kg d'orge brut en moins que ceux du lot Normal et leur durée de finition a été légèrement réduite.

En conclusion, l'utilisation des ensilages de maïs bm3 à haute teneur en MS par les taurillons à l'engrais permet de réduire la complémentation énergétique d'un peu plus de 1 UFV par rapport au maïs normaux correspondants. En revanche, il est nécessaire de maintenir la complémentation azotée classiquement pratiquée avec ce type de ration.

Si l'ensilage de maïs est très généralement utilisé par les animaux à l'engrais, il l'est par contre beaucoup moins par les jeunes bovins en croissance. Les données disponibles sur l'utilisation d'ensilage de maïs bm3 pour ce type d'animal sont de ce fait peu nombreuses. Les résultats que nous avons acquis en Normandie (tabl. 4) à partir d'ensilage de maïs de faible teneur en matière sèche (19 à 28 p. 100) ne confirment qu'en partie ceux récapitulés auparavant sur taurillons à l'engrais. En effet, les ingestibilités comparées des ensilages de maïs N et bm3, distribués à volonté, sont en moyenne très voisines. En fait, le niveau d'ingestion supérieur du maïs bm3 semble seulement réapparaitre dans le 1er essai réalisé avec la variété LG 11 alors qu'il n'a pu être mis en évidence avec la variété INRA 188 (3 autres comparaisons). Les réponses différentes observées dans ces essais en fonction de la variété de maïs étudiée peuvent sans doute être reliées à l'utilisation de l'INRA 188 bm3. En effet, les observations faites sur la lignée F 186 bm3, parent mâle de la variété INRA 188 bm3, laissent à penser que l'expression du gène bm3 ne se fait pas convenablement dans ce génome. L'hybride INRA 188 bm3 n'est donc sans doute pas reconverti pour l'ensemble des caractères induits par le gène bm3, et en particulier pour certains de ceux liés à la valeur alimentaire. De plus, il faut noter que la teneur en matière sèche des ensilages bm3 INRA 188 était en moyenne de 2 points inférieure à celle des maïs normaux, et ce dans une zone où l'ingestibilité des ensilages est très dépendante de cette dernière (MALTERRE, 1976).

TABLEAU 4

Utilisation comparée d'ensilage de maïs normaux (N) et brown midrib (bm3) par des jeunes bovins en croissance
(Rations à base d'ensilage de maïs distribué à volonté et complémenté par un apport de 0,5 à 0,6 kg de tourteau)

Essais	Le Pin au Haras 1978-79		Le Pin au Haras 1977-78		Le Pin au Haras 1979-1980		Le Vieux Pin 1979-1980	
Conditions expérimentales	LG 11 Taurillons Pie Noirs (n = 2 x 13)		INRA 188 Taurillons Normands et Pie Noirs (n=2x26)		INRA 188 Taurillons Normands (n = 2 x 6)		INRA 188 Taurillons de divers génotypes (n = 2 x 6)	
	N	bm3	N	bm3	N	bm3	N	bm3
Poids initial (kg)	323	274	345	342	297	297	231	232
Durée (j)	29	30	36	36	90	90	84	84
Gain de poids vif (g/j)	-	-	-	-	1426	1494	1004	1074
Quantités Ingérées d'ensilage (kg MS/j)	5,91	5,75*	6,19	6,21	7,27	7,08	5,20	5,09
Efficacité alimentaire (g de gain PV/kg MS totale)	-	-	-	-	182	195	175	190
Taux de matière sèche de l'ensilage	22,2	22,0	22,5	19,4	27,6	26,0	29,0	27,4

* Ce résultat correspond à une consommation supérieure de 7 p.100 pour l'ensilage bm3 après correction pour la différence de poids vif entre les lots expérimentaux (C. MALTERRE, 1976).

Dans les 2 essais où la durée expérimentale a été suffisamment longue pour estimer les performances de croissance des animaux, l'utilisation de maïs bm3 se traduit par une amélioration de l'efficacité alimentaire de 7 à 9 p. 100, tout à fait comparable à celle observée sur les animaux à l'engrais (près de 9 p. 100). Mais contrairement aux résultats obtenus sur ces derniers, cette amélioration provient d'une ingestibilité un peu plus faible des maïs bm3 et d'un gain de poids vif des animaux légèrement supérieur.

III. Utilisation sous forme d'ensilage par les vaches laitières[1]

Les 6 essais réalisés à l'INRA de Lusignan de 1977 à 1981 portant sur l'utilisation de l'ensilage de maïs de type brown-midrib 3 (bm3) comparativement au maïs normal (N) ont été entrepris avec un double objectif :

— dans un premier temps (3 premiers essais), nous avons comparé les 2 types d'ensilages (N et bm3) à un même niveau de complémentation intra-essais correspondant à celui classiquement réalisé avec le maïs normal (VERITE *et al.*, 1970 et 1973). Ceci avait pour but de mettre en évidence l'ingestibilité plus élevée des maïs de type bm3 et de mieux cerner leur valorisation énergétique à partir des performances des vaches laitières ;

— lors de la réalisation des 3 derniers essais, nous avons tenu compte des résultats de valeur alimentaire acquis sur les moutons antérieurement et sur les vaches au cours des 3 premiers essais pour tester les ensilages de type bm3 selon leurs potentialités attendues. Les comparaisons par rapport au maïs normal ont donc été effectuées en cherchant à déterminer le niveau de complémentation (plus faible) qui permette les mêmes performances de production.

Conditions expérimentales

Le troupeau expérimental de 60 vaches laitières d'un niveau de production de 6400 kg de lait environ a permis de constituer pendant 5 saisons hivernales consécutives (1977-78 à 1981-82) 2 lots comparables de 6 à 12 vaches à la fin de leur premier mois de lactation (25 à 70 jours). En plus du stade de lactation et de l'âge, les critères d'appariement retenus ont été le niveau de production (> 20 kg lait primipares, > 25 kg multipares), la composition du lait (taux butyreux et protéique) et le poids vif mesurés au cours d'une période préexpérimentale de 2 semaines. Pour les 2 derniers essais, nous disposions aussi des niveaux d'ingestion obtenus durant la même période à partir d'une ration constituée d'ensilage de maïs normal. Suite à l'appariement, l'un des lots a été considéré comme témoin (maïs normal) tandis que l'autre a été affecté au traitement expérimental (maïs bm3) durant des périodes variant de 5 à 10 semaines.

Au total, 95 vaches différentes (38 p. 100 de primipares) ont participé à ces 6 essais. Les résultats portent cependant sur 113 données en raison de la réalisation des essais III et IV à partir des mêmes animaux (n = 18) au cours de 2 périodes consécutives (tabl. 5).

Les ensilages de maïs toujours bien conservés ont été distribués *ad libitum* (5 à 10 p. 100 refus) de façon individuelle et complémentés à l'auge afin de constituer une ration de base « corrigée ». Ceci a été obtenu grâce à l'apport de minéraux (200 à 250 g), d'urée (120 à 180 g) et de tourteau de soja 50 (0,6 à 1,7 kg) en tenant compte de l'âge des animaux (primipares et multipares) et du type d'essais (complémentation identique ou non). La complémentation en fonction des besoins des animaux a été réalisée à partir d'un concentré de type « production » (125 PDI/UFL) au-dessus de 9 à 24 kg lait selon l'âge des animaux et les traitements expérimentaux. Le schéma de complémentation appliqué a été établi de façon prédéterminée (diminution théorique de la production de 1,5 et 2 p. 100 par semaine pour les primipares et multipares respectivement) en utilisant un rythme de distribution du concentré de 1 kg par tranche de 3 kg de lait afin de favoriser au maximum l'ingestion de fourrages.

L'interprétation statistique des résultats a été réalisée selon l'analyse de variance multivariable en prenant en compte les facteurs niveau de concentré, type d'essai, type d'ensilage et type d'animal (primipares et multipares) ainsi que les 2 interactions niveau de concentré X type de maïs et type d'animal X type de maïs. Les 2 premiers facteurs (concentré et essai) correspondaient à un modèle hiérarchique. Afin de prendre en compte la variabilité importante inter-individus, la variation observée entre la préexpérience et la période expérimentale a été retenue pour analyser les variables de production et de composition du lait. Les calculs ont été faits avec le programme Anvarm de la bibliothèque Amance (BACHACOU *et al.*, 1981). Les moyennes présentées sont ajustées des effets du modèle et des déséquilibres des données.

Les principales conditions expérimentales de ces essais et celles se rapportant notamment aux traitements appliqués sont présentées au tableau 5. Les résultats obtenus essai par essai et récapitulés selon les différents niveaux de facteurs étudiés ainsi que les seuils de signification sont rapportés aux tableaux 6, 7 et 8.

Résultats

1. A même niveau de complémentation (essais I, II, III)

Pour des quantités de concentré pratiquement identiques (3,5 kg MS), les vaches recevant les maïs de type bm3 :

(1) Un premier bilan a été réalisé par D. EVE, mémoire de fin d'études ESITPA, 1981.

TABLEAU 5

Utilisation des ensilages de maïs normaux (N) et brown midrib 3 (bm3) par les vaches laitières
Principales conditions expérimentales

Schéma Expérimental	Pré-expérience (2 semaines) + période expérimentale de 5 à 10 semaines selon schéma en continu : comparaison intra-essai d'une même variété d'ensilage de maïs normal (Témoin) ou de type Brown midrib-3 (expérimental).												
Animaux	12 (essai 1) à 24 vaches Pie-Noire (75 p.100 Holstein) appariées en 2 lots selon critères d'âge, productions et composition du lait, date de vêlage et poids vif.												
Régimes Expérimentaux	Essais n°		I		II		III (1) IV				V		VI	
	Hiver		1977 - 78		1978 - 79		1979 - 80				1980 - 81		1981 - 82	
	Variété maïs		LG 11		INRA 260		INRA 258				INRA 302		INRA 400	
	Effectif (primipares)		12 (2)		18 (10)		18 (6)				24 (12)		23 (6)	
- caractéristiques générales	Durée - semaines		8		10		5		6		8		8	
	Type ensilage maïs offert à volonté :		N	bm3	N	bm3	N	bm3	N	bm3	N	bm3	N	bm3
- caractéristiques ensilages maïs	Matière sèche p.100		36,1	35,2	34,0	37,5	31,0	33,8	id.		35,1	36,3	31,4	30,0
	Grains p.100 MS		45,2	43,5	40,6	39,4	41,5	41,4	essai		48,9	48,3	44,0	42,1
	MAT - p.100 MS		8,4	8,5	10,3	9,6	7,8	8,9	III		9,2	8,9	8,4	9,0
	UFL/kg MS (moutons)		0,80	0,91	0,85	0,92	0,80	0,86			0,84	0,91	0,79	0,89
	PDIN - g/kg MS		54	53	67	61	50	57			59	56	54	57
	PDIE - g/kg MS		66	69	74	73	65	70			70	71	66	69
- rationnement	+ 200 à 250g minéraux													
	+ Urée :													
	g	Primipares	150				180				120			
		Multipares	150				180				180			
	+ Tourteau soja 50 :													
	kg	Primipares	1,5		1,7		0,8		0,6	1,0	0,6	1,0	0,6	1,0
		Multipares	1,5		1,7		1,5		1,2	1,8	1,2	1,8	1,2	1,8
	Niveau complémentation ration "corrigée" :		IDENTIQUE						DIFFERENT					
	kg lait 4 %	Primipares	18				12		9	15	9	15	9	15
		Multipares	21				20		17	24	17	24	17	24
	(1) Essais III et IV : les mêmme vaches ont été utilisées au cours de 2 périodes consécutives de 5 (essai III) puis 6 (essai IV) semaines.													
Aliments concentrés de type "production"	22, 5 p.100 Tourteau Soja 50 + 75 p.100 Orge + 2,5 p.100 minéraux. (0,99 UFL ; 129g PDIN ; 122g PDIE par kg) - Aliment condensé de 10 mm diamètre.													
	Apport individuel selon un schéma prédéterminé à raison de 1 kg/3kg de lait brut au dessus des niveaux de production supposés couverts par la ration "corrigée".													
Mode d'apport	Distribution de l'ensilage de maïs en une fois par jour (10 h). Apport des aliments "correcteurs" (urée + minéraux + tourteau soja 50) et du concentré de "production" jusqu'à 3 kg sur la ration d'ensilage le matin. Distribution éventuelle de la seconde fraction de concentré "production" le soir.													
Logement	Stabulation libre sur aire paillée. Salle de traite en épi 2 x 4 (traites à 7h30 et 16h30). Alimentation dans auges individuelles munies de portillons électroniques.													
Mesures individuelles	Production laitière : 4 jours par semaine (tru-test). Composition du lait (taux butyreux et protéique) : 3 mesures par semaine à partir de 6 traites. Ingestion : pesée des quantités offertes et refusées 3 jours par semaine (teneur en MS des aliments tous les jours). Poids vif : pesée des animaux tous les mois, 2 jours consécutifs.													

TABLEAU 6

Utilisation des ensilages de maïs normaux (N) et brown-midrib 3 (bm3) par les vaches laitières
Résultats essai par essai (1)

Essais n°	I		II		III		IV		V		VI	
Type ensilage	N	bm3	N	bm3	N	bm3	N	bm3	N	bm3	N	bm3
EFFECTIF VACHES.....	6	6	9	9	10	8	10	8	12	12	11	12
dont primipares.....	1	1	5	5	3	3	3	3	6	6	3	3
QUANTITES INGEREES (kg MS)												
- ensilage maïs.....	15,1	16,1	12,4	13,5	12,7	13,4	12,3	14,9	14,1	14,7	13,8	15,7
- ensilage maïs (p. 100 PV)	2,51	2,65	2,13	2,36	2,11	2,22	1,99	2,43	2,39	2,51	2,32	2,55
- aliment concentré total..	2,1	2,1	3,1	3,2	4,3	4,8	3,4	2,6	3,6	2,2	4,2	2,7
- ration totale.....	17,2	18,2	15,5	16,7	17,0	18,2	15,7	17,5	17,7	16,9	18,0	18,4
- ration totale (p. 100 PV)	2,87	2,99	2,66	2,92	2,83	3,06	2,55	2,87	3,02	2,89	3,05	3,00
APPORTS NUTRITIFS												
- UFL (2).....	14,3	16,9	13,9	15,8	14,8	16,9	13,5	15,5	15,6	15,7	15,2	17,0
- PDIN (g).....	1 635	1 660	1 860	1 860	1 790	1 990	1 590	1 740	1 800	1 630	1 855	1 895
- PDIE (g).....	1 445	1 555	1 530	1 610	1 560	1 740	1 390	1 520	1 560	1 450	1 635	1 660
PRODUCTION-COMPOSITION DU LAIT												
- lait (kg).....	17,9	18,7	23,0	23,7	24,5	25,7	20,4	21,8	21,6	20,9	22,8	23,9
- lait 4 p. 100 (kg).....	18,0	18,5	23,1	23,4	24,3	25,2	20,6	22,2	21,4	21,1	22,5	24,5
- matières grasses (g).....	719	737	925	924	968	995	827	901	854	846	890	999
- protéines (g).....	580	607	721	729	757	812	651	712	686	659	664	711
- taux butyreux (g p. 1000)	40,1	39,6	40,4	39,1	39,6	38,7	40,5	41,2	39,8	40,6	39,3	41,7
- taux protéines (g p. 1000)	32,5	32,6	31,4	30,6	31,0	31,5	31,8	32,6	31,8	31,6	29,2	29,7
POIDS VIF (kg).....	603	615	585	576	596	598	614	616	591	588	596	615
BILANS												
- UFL/j (2).....	+ 1,2	+ 3,6	- 1,4	+ 0,4	- 1,1	+ 0,6	- 0,8	+ 0,4	+ 1,0	+ 1,2	- 0,1	+ 0,9
- PDI (g/j).....	+ 145	+ 230	- 50	+ 40	- 70	+ 70	- 50	- 10	+ 70	+ 10	+ 100	+ 30

(1) Moyennes ajustées par analyse de variance multivariable (cf. texte).
(2) A partir des résultats de digestibilité obtenus sur moutons (tableau 5).

a) ont eu un niveau d'ingestion plus élevé ($P < 0,05$)

Les animaux expérimentaux ont en moyenne consommé 1 kg MS de plus d'ensilage de maïs bm3 (14,2 contre 13,2 kg MS), soit environ 7,5 p. 100, que ceux recevant le régime témoin. Consécutivement le niveau de la ration totale a été plus élevé dans des proportions identiques (2,99 contre 2,78 kg MS p. 100 kg poids vif - PV).

La valeur alimentaire (valeur nutritive X ingestibilité) plus importante des maïs bm3 a entraîné un accroissement théorique du niveau énergétique de la ration de base de 1,9 UFL si l'on se base sur les résultats de digestibilité obtenus sur les moutons. En conséquence, la production laitière permise serait plus élevée de près de 4,5 kg pour ce type de maïs, la moitié approximativement étant due à la valeur nutritive (0,90 contre 0,82 UFL/kg MS) et l'autre à la meilleure ingestibilité (+ 1 kg MS).

b) ont eu des performances légèrement améliorées

Les vaches recevant le maïs bm3 ont produit 1,1 kg de lait ($P < 0,05$) et 0,7 kg de lait 4 p. 100 en plus que les vaches des lots témoins. Par ailleurs, les vaches expérimentales ont apparemment gagné environ 165 g de poids vif de plus par jour entre les périodes pré- et post-expérimentales.

Le taux butyreux a été affecté par l'ensilage de maïs bm3 (— 1,1 point-$P < 0,01$). Le taux de protéines n'a par contre pas été amélioré malgré le niveau énergétique des apports plus élevé avec ce type de maïs.

c) n'ont pas valorisé toute l'énergie supplémentaire

Les vaches recevant le maïs bm3 auraient en moyenne reçu 2 UFL en plus par jour. Dans ces conditions, la suralimentation énergétique (apports - besoins, sans tenir compte des variations de poids vif) des animaux recevant le bm3 aurait été d'environ 1,2 UFL alors que ceux à l'ensilage témoin seraient en bilan légèrement négatif (— 0,5 UFL). Il n'est alors pas étonnant que l'efficacité marginale de l'énergie supplémentaire ne soit que de 0,35 kg lait 4 p. 100 par UFL. En tenant compte du gain de poids vif supplémentaire (+ 165 g/j) équivalent à 0,6 UFL (INRA, 1978), la valorisation énergétique des maïs bm3 serait comparable à celle des ensilages témoins (environ 0,86 UFL/kg MS).

2. A niveau de complémentation différent (essais IV, V, VI)

Pour fixer le niveau de complémentation des maïs bm3 en aliment concentré, nous avons tenu compte : 1/ de la valeur

TABLEAU 7

Utilisation des ensilages de maïs normaux (N) ou brown-midrib 3 (bm3) par les vaches laitières
Résultats selon les niveaux de complémentation (1)

Niveau complémentation (2)	IDENTIQUE		DIFFERENT			
Type d'ensilage de maïs	N	bm3	N	bm3	N	bm3
EFFECTIF VACHES.....	25	23	33	32	58	55
dont primipares.....	9	9	12	12	21	21
QUANTITES INGEREES (kg MS)						
- ensilage maïs.....	13,2 *	14,2	13,4 **	15,1	13,3 **	14,7
- ensilage maïs (p. 100 PV).....	2,22 **	2,38	2,25 **	2,50	2,24 **	2,45
- aliment concentré total.....	3,3	3,5	3,8 **	2,5	3,6 **	2,9
- ration totale.....	16,5 *	17,7	17,2	17,6	16,9 *	17,6
- ration totale (p. 100 PV).....	2,78 **	2,99	2,90	2,92	2,85	2,95
APPORTS NUTRITIFS						
- UFL (3).....	14,4	16,4	14,8	16,0	14,6	16,2
- PDIN (g).....	1 780	1 855	1 755	1 755	1 765	1 800
- PDIE (g).....	1 520	1 640	1 535	1 545	1 530	1 585
PRODUCTION-COMPOSITION DU LAIT						
- lait (kg).....	22,2 *	23,3	21,7 *	22,2	21,9 *	22,7
- lait 4 p. 100 (kg).....	22,2	22,9	21,6 *	22,6	21,8 *	22,7
- matières grasses (g).....	888	905	859	916	871	912
- protéines (g).....	697	731	667	692	680	709
- taux butyreux (g p. 1000).....	40,1 **	39,0	39,9 **	41,1	40,0 (I)	40,3
- taux protéines (g p. 1000).....	31,5	31,4	30,9	31,2	31,1	31,3
POIDS VIF (kg).....	594	593	599	606	597	600
BILAN ENERGETIQUE (UFL/j) (3).....	- 0,5	+ 1,2	0	+ 0,8	- 0,2	+ 1,0
BILAN PDI (g/j).....	+ 10	+ 110	+ 40	+ 10	+ 25	+ 60

(1) Moyennes ajustées par analyse de variance multivariable (cf. texte).
Différences significatives aux seuils de 5 p. 100 (*) et 1 p. 100 (**).
(2) "Identique" : essais I, II, III - "Différent" : essais IV, V, VI - (cf. texte et tableau 5).
(3) A partir des résultats de digestibilité obtenus sur moutons (tableau 5).
(I) Interaction niveau de concentré X type de maïs.

énergétique supérieure mesurée sur moutons (+ 0,08 UFL), 2/ de l'accroissement du niveau d'ingestion observé dans les 3 essais précédents, et 3/ de la substitution attendue consécutivement à la réduction du niveau d'apport de concentré. De ce fait, nous avons estimé que les ensilages de maïs de type bm3 devaient permettre (après correction de la ration de base) des niveaux de production supérieurs de 6 (primipares) et 7 (multipares) kg lait par rapport aux maïs normaux. Ainsi, en complément de la ration de base « corrigée » par un apport de tourteau de soja (+ 0,4 à + 0,6 kg en supplément avec les bm3 selon les numéros de lactation), les vaches primipares et multipares recevant le maïs bm3 n'ont reçu du concentré « production » qu'à partir de 15 et 24 kg de lait respectivement (tabl. 5).

Dans ces conditions, pour une réduction moyenne de la complémentation totale (tourteau + « production ») de 1,3 kg MS, les vaches recevant le maïs bm3 :

a) ont augmenté fortement leur ingestion d'ensilage

Le niveau d'ingestion de maïs bm3 a été plus élevé de 1,7 kg MS soit de 11 p. 100 par rapport au maïs témoin (2,50 contre 2,25 kg MS p. 100 PV), mais en revanche les quantités de matière sèche totale ont été identiques (2,9 kg MS p. 100 kg PV). Les proportions de concentré dans la ration ont été respectivement de 22 et 14 p. 100 pour les maïs normaux et bm3.

Mais cette différence d'ingestion de fourrages est due à la fois à la meilleure ingestibilité de l'ensilage et à la réduction de l'apport de concentré. En attribuant au facteur « ingestibilité » la même valeur que celle observée précédemment (+ 1 kg MS), on observe alors que « l'effet de substitution » est voisin de 0,55 kg MS d'ensilage bm3 en plus par kg de concentré apporté en moins. Ceci est en bon accord avec les observations faites par ailleurs (VERITE *et al.*, 1979) avec des ensilages normaux et distribués à des animaux ayant leurs besoins sensiblement satisfaits.

Selon le numéro de lactation des vaches, l'augmentation d'ingestion d'ensilage bm3 par rapport au maïs témoin a été proportionnellement (par rapport au PV) plus importante

TABLEAU 8

Principaux résultats obtenus selon l'âge des animaux
Essais à complémentation différente (IV-V-VI) (1)

Numéro lactation	Primipares (2 ans)			Multipares		
Type d'ensilage	N		bm3	N		bm3
Effectif vaches.....	12		12	21		21
Ensilage maïs (kg MS).....	11,5	**	13,3	14,6	**	16,2
Concentré total (kg MS).....	4,1	**	2,7	3,6	**	2,3
Ration totale (kg MS p. 100 PV)...	2,83		2,90	2,91		2,90
Poids vif (kg).....	552		552	626		638
Lait (kg).....	19,4	*	20,3	23,1		23,3
Lait 4 p. 100 (kg).....	19,7		20,5	22,7	*	23,9
Taux butyreux (g p. 1 000).....	41,2		40,6	39,0	*	41,5 (I)

(1) Moyennes ajustées par analyse de variance multivariable (cf. texte).
Différences significatives au seuil de 5 p. 100 (*) et 1 p. 100 (**).
(I) Interaction type de maïs X numéro de lactation.

(tabl. 8) chez les primipares (+ 16 p. 100) que chez les multipares (+ 9 p. 100).

La production latière permise à partir de l'énergie apportée par la ration de base du régime bm3, estimée d'après la valeur nutritive obtenue sur moutons serait dans ces conditions de 17 kg pour les primipares et de 22 kg pour les multipares.

Par ailleurs, les vaches multipares ont ingéré environ 3 kg MS d'ensilage en plus que les primipares quel que soit le type de maïs distribué (tabl. 8). Après avoir tenu compte des besoins supplémentaires d'entretien (environ + 0,5 UFL), ceci correspond à une différence de production permise par la ration de base de l'ordre de 5 kg de lait.

b) ont produit plus de lait ($P < 0,05$)

Les quantités de lait et de lait 4 p. 100 produites par les vaches expérimentales ont été supérieures de 0,5 kg et 1 kg respectivement à celles produites par les vaches du lot témoin.

Mais ces différences sont dues essentiellement aux primipares pour le lait et aux multipares pour le lait 4 p. 100 en raison d'une interaction entre le type de maïs et l'âge des animaux pour le taux butyreux (tabl. 8). De même, nous avons observé pour cette même variable une interaction entre le type de maïs et le niveau de complémentation (tabl. 7).

Les variations de poids vif ont été identiques selon les traitements, les animaux étant en moyenne restés à poids sensiblement constants.

c) ont légèrement mieux valorisé leur ration

En réalité, la réduction de la complémentation a encore été insuffisante pour compenser à la fois l'amélioration énergétique théorique du maïs bm3 (+ 0,08 UFL/kg MS) et le plus fort niveau d'ingestion (+ 1,7 kg MS). Le niveau des apports énergétiques estimé à de ce fait été supérieur de 1,2 UFL par rapport à celui observé avec le maïs normal et le bilan énergétique des vaches serait positif d'environ 0,8 UFL. La réponse marginale de production à l'apport supplémentaire d'énergie par la ration de maïs bm3 a été d'un peu plus de 0,80 kg lait 4 p. 100 par UFL. La valorisation énergétique du kg MS d'ensilage calculée sur les performances ne serait que de 0,83 UFL pour le bm3 contre 0,80 pour les vaches du maïs normal alimentées à un niveau plus proche de leurs besoins (bilan énergétique nul).

Discussion - Conclusion

L'ensemble de ces essais permettent tout d'abord de confirmer les résultats classiques obtenus avec les ensilages de maïs normaux (VÉRITÉ, JOURNET, 1978). Ainsi à l'échelon d'un troupeau (35 p. 100 primipares) correctement complémenté, nous avons obtenu en moyenne une ingestion de 13,3 kg MS d'ensilage (2,24 p. 100 kg MS p. 100 PV) pour une teneur en MS moyenne de 34 p. 100 (44 p. 100 de grains). Selon l'âge, les primipares (vêlage à 2 ans) ont consommé environ 3 kg MS de moins que les multipares (11,5 contre 14,6) ; ce qui correspond bien aux différences habituellement observées entre ces 2 catégories d'animaux compte tenu de leurs écarts de poids vif et de production laitière (JOURNET *et al.*, 1965 ; TROCCON *et al.*, 1979). Cette différence a d'ailleurs été observée quel que soit le type de maïs (13,3 contre 16,2 kg MS avec le bm3).

Cependant, ce niveau d'ingestion aurait probablement été plus élevé (de 0,5 à 1 kg MS d'ensilage) si la complémentation avait été un peu moins libérale d'après les résultats observés par ailleurs (VÉRITÉ, résultats non publiés ; HUGUET *et al.*, 1983).

En conséquence, les productions laitières permises à partir de l'énergie apportée par l'ensilage de maïs normal récolté au stade pâteux-vitreux du grain et offert à volonté, se situent bien aux environs de 12,5 kg pour les primipares vêlant à 2 ans mais d'un bon format (550 kg poids vif) et de 18 kg pour les multipares d'un poids vif voisin de 600 kg.

— Les 3 premiers essais, réalisés au niveau de complémentation correspondant à celui pratiqué avec le maïs de type nor-

mal, ont permis de dégager la meilleure ingestibilité de l'ensilage de type bm3 avec des animaux de même capacité d'ingestion. Dans ces conditions, la valeur d'encombrement du maïs bm3 serait plus faible d'environ 7,5 p. 100 par rapport à celle des maïs normaux de caractéristiques comparables (p. 100 MS, p. 100 grains...). Ceci correspond en moyenne à une ingestion supplémentaire d'ensilage de l'ordre de 1 kg MS. Ces données sont en accord avec les résultats des essais (13,2 contre 12,1 kg MS pour le maïs normal) réalisés aux USA avec des vaches produisant de 25 à 30 kg de lait selon les expériences mais recevant des niveaux de complémentation plus élevés (6,5 kg MS concentré) que les nôtres (FRENCHICK *et al.*, 1976 ; ROOK *et al.*, 1977 ; KEITH *et al.*, 1979 ; SOMMERFELDT *et al.*, 1979 ; ELLIOT BLOCK *et al.*, 1981).

— Les 3 derniers essais ont été réalisés à des niveaux de complémentation différents dans le but de mettre en évidence les potentialités plus élevées du maïs bm3. Nous avons alors observé un écart moyen de l'ingestion de 1,7 kg MS correspondant pratiquement à un accroissement des quantités ingérées d'ensilage de 16 p. 100 chez les primipares et de 9 p. 100 chez les multipares en faveur du maïs bm3.

L'amélioration de la valeur énergétique (UFL/kg MS) des ensilages de maïs bm3 par rapport aux maïs normaux, estimée à partir des performances des animaux, a cependant été plus faible que celle attendue (+ 0,03 UFL contre + 0,08 UFL/kg MS d'après les moutons en digestibilité). Elle peut en premier lieu être due à l'application aux vaches laitières des résultats obtenus sur moutons (CARLE et DULPHY, 1980). Mais la distribution un peu trop libérale de concentré ayant entraîné une suralimentation moyenne théorique de 0,9 UFL pour les bm3 peut aussi expliquer en partie cette plus faible efficacité. Il est alors en effet bien connu que l'efficacité marginale d'utilisation de l'énergie pour la production laitière est plus faible (loi des rendements décroissants), une part de plus en plus importante des UFL étant utilisée à la reconstitution des réserves corporelles (INRA, 1978). Par ailleurs, il n'a malheureusement pas été possible de mettre en évidence des différences de gains de poids vif en faveur du maïs bm3 en raison probablement de l'insuffisance du nombre de pesées et des difficultés à prendre en compte les variations de contenus digestifs.

Compte tenu de cet ensemble de conditions, on peut estimer qu'à un niveau des apports correspondant aux besoins des animaux (bilan UFL équilibré, variations de poids vif nulles), les ensilages de maïs bm3 auraient une valeur énergétique supérieure d'environ 0,04 UFL/kg MS par rapport à celle des mêmes maïs normaux (variétés, p. 100 MS, p. 100 grains identiques...).

L'amélioration des 2 volets de la valeur alimentaire (valeur nutritive X quantités ingérées) des ensilages de maïs bm3 permet donc d'accroître de façon sensible la production permise par la ration de base mais à condition de ne pas trop complémenter. On peut alors admettre que les vaches adultes (600 kg de poids vif) d'un niveau de production moyen comparable à celui de nos essais (24 kg lait 4 p. 100) seraient capables d'ingérer environ 16 kg MS d'ensilage de maïs bm3 à forte teneur en MS (33-35 p. 100, 40-45 p. 100 de grains) et que les primipares (550 kg - 20 kg lait) en consommeraient environ 13,5 kg MS. Ces niveaux d'ingestion devraient permettre de n'effectuer une complémentation énergétique qu'au-dessus de 21 et 16 kg lait 4 p. 100 pour les multipares et primipares respectivement. Pour les vaches adultes plus fortes productrices, en utilisant en particulier des rythmes de distribution de concentré de l'ordre de 1 kg par 3 kg de lait (INRA, ITEB, EDE, 1981), on observera alors des niveaux d'ingestion probablement plus élevés et pouvant atteindre 17 kg MS de maïs bm3. Ce n'est en effet qu'avec des vaches à haut potentiel que l'on pourra valoriser au maximum toutes les potentialités énergétiques de ce type de maïs amélioré. La complémentation azotée (PDI) à réaliser pour obtenir une ration de base « corrigée » reste importante puisque les apports de PDIE (en supposant une couverture des apports de PDIN à partir d'azote non protéique) ne permettent simultanément que d'assurer environ 14,5 kg lait. En utilisant par exemple un mélange de tourteaux tannés à environ 320 g de PDIE par kg, il sera nécessaire d'en apporter 1,5 kg pour obtenir une ration de base « corrigée » à environ 25 kg lait 4 p. 100. Ceci signifie qu'une proportion encore élevée de troupeaux laitiers sera suralimentée. En revanche, il sera possible de rationner les vaches à haut potentiel avec de très faibles quantités de complémentaires.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Y. HEBERT (INRA - Lusignan) qui a réalisé l'ensemble de l'interprétation statistique des résultats et P. FAVERDIN (INRA - Rennes) pour ses conseils avisés en la matière.

Conclusion générale

Au travers des différents essais zootechniques réalisés sur les taurillons à l'engrais et les vaches laitières avec des ensilages de maïs bm3 de haute teneur en MS, différents points peuvent être dégagés.

— A même niveau de complémentation que celui pratiqué avec les ensilages normaux, nous avons pu montrer que ces maïs bm3 se sont mieux ingérés, en raison d'une valeur d'encombrement plus faible en moyenne de 7,5 p. 100 chez les 2 catégories de bovins. Cette augmentation d'ingestibilité s'est traduite sur les taurillons par une amélioration des performances de croissance d'environ 200 g/j et de gain de carcasse de 100 g. Ceci correspond à un accroissement de la valeur énergétique des ensilages de maïs bm3 de 0,03 à 0,04 UFV/kg MS par rapport au maïs normal. Chez les vaches laitières, l'amélioration des performances a été de 1,1 kg lait et 0,7 kg lait 4 p. 100 avec simultanément un gain de poids apparent légèrement plus élevé. Mais globalement, les vaches n'ont pas valorisé dans nos conditions expérimentales toute l'énergie supplémentaire apportée par les maïs bm3.

— Dans les essais réalisés à des niveaux de complémentation mieux adaptés aux potentialités des ensilages bm3, nous avons pu confirmer les résultats précédents concernant leur meilleure ingestibilité. De plus, avec une réduction de la complémentation d'environ 1 kg MS d'orge chez les taurillons recevant le maïs bm3, nous avons pu obtenir le maintien des performances des animaux par rapport à celles observées avec les ensilages normaux. Chez les vaches laitières, avec une diminution de l'apport de concentré de 1,3 kg MS, les productions ont été améliorées dans les mêmes proportions que précédemment. Cet ensemble de résultats a permis d'estimer l'accroissement de

la valeur énergétique des ensilages bm3 à 0,03-0,04 UF (V ou L) par rapport aux maïs normaux correspondants.

Avec les types de maïs utilisés (33-35 p. 100 MS, 40-45 p. 100 de grains) offerts à volonté, il est donc possible de réduire sensiblement les quantités de complémentaires énergétiques à apporter aux taurillons et aux vaches laitières par rapport aux ensilages normaux de mêmes caractéristiques. Il faudra en revanche apporter autant d'attention, sinon plus, à la complémentation azotée (PDIN et PDIE). Ceci est en particulier le cas des animaux à besoins élevés qui sont les mieux adaptés à valoriser toutes les potentialités énergétiques de ce type de maïs amélioré.

Par ailleurs, il serait nécessaire d'obtenir davantage de références sur les maïs à faibles teneurs en MS.

Les travaux de sélection réalisés actuellement en utilisant le gêne bm3 ne visent plus à reconvertir des génotypes déjà existants, avec les inconvénients liés à la méthode des rétrocroisements. La création variétable de génotypes originaux bm3 est envisagée à partir de populations bm3 au sein desquelles a été réalisée par sélection récurrente une adaptation de l'ensemble des génomes au gêne bm3. Mais, ce travail ne peut déboucher qu'à moyen terme. A court terme, ce sont des lignées issues des premiers départs en sélection généalogique, après un faible nombre de rétrocroisements qui pourront éventuellement permettre la mise à disposition de variétés bm3 ; toutefois, ce matériel semble moins productif que les meilleurs génotypes classiques actuels. Seul, un bilan économique permettra de chiffrer la perte éventuelle de rendement acceptable de ce matériel amélioré pour la qualité.

Références bibliographiques

BACHACOU J., MASSON J.P., MILLER C., 1981. *Amance 81.* Manuel de la programmation statistique. CNRF, INRA.

BARNES R.F. MULLER L.D., BAUMAN L.F., COLENBRANDER V.F., 1971. *In vitro* dry matter disappearence of browm midrib mutants. *J. anim. sci.,* **33,** 881-884.

COLENBRANDER V.F., LECHTENBERG Y.L., BAUMAN L.F., MULLER L.D., RHYKERD C.L., 1972. Nutritive value of brown midrib corn silage. *J. anim. sci.,* **37,** 294 (abster).

COLENBRANDER V.F., LECHTENBERG V.L., BAUMAN L.F., 1973. Digestibility and feeding value of brown midrib corn stover silage. *J. anim. sci.,* **37,** 294-295.

COLENBRANDER V.F., BAUMAN L.F., LECHTENBERG V.L., 1973 b. Effects of brown midrib mutants genes on the nutrional quality of corn. *28 th Animal corn and sorghum research conference,* 92-97.

COLENBRANDER V.F., LECHTENBERG V.L., BAUMAN L.F., 1975. Feeding value of low lignin corn silage. *J. anim. sci.,* **41,** 332-333.

DEMARLY Y., 1977. Génétique et amélioration des plantes. Ed. Masson, p. 287.

ELLIOT BLOCK, MULLER L.D., GRIEL L.C., GARWOOD J.R., GARWOOD D.L., 1981. Brown midrib-3 corn silage and heat extruded soybeans for early lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.,* **64,** 1813-1825.

EL TEKRITI R.A., LECHTENBERG V.L., BAUMAN L.F., COLENBRANDER V.F., 1976. Structural composition and *in vitro* dry matter disappearance of brown midrib corn residue. *Crop Sci.,* **16,** 387-389.

FRENCHICK G.E., JOHNSON D.G., MURPHY J.M., OTTERBY D.E., 1976. Use of brown midrib corn silage in dairy cattle rations. *J. Dairy Sci.,* **59,** 2126-2129.

GALLAIS A., HUGUET L., BERTHET H., BERTIN G., BROQUA B., MOURGUET A., TRAINEAU R., 1979. Feeding and agronomic value of brown midrib maize hybrids in french conditions. *Euromais 79.* Congress Cambridge.

GALLAIS A., VINCOURT P., HUGUET L., 1982. Objectifs et critères de sélection du maïs fourrage. Congrès eucarpia Montreux, Suisse, septembre 1981.

GEE M.S., NELSON D.E., KUC J., 1968. Abnormal lignins produced by the brown midrib mutants of maize. II. Comparative studies on normal brown midrib. 1 — Dimethylformanide lignins. *Arch. Biochem. Biophys.,* **123,** 403-408.

HUGUET L., HODEN A., MALTERRE C., GEAY Y., MICOL D., BERTIN G., MOURGUET A., 1983. Utilisation des graines de lupin doux par les vaches laitières et les taurillons. *Bull. tech. CRZV Theix, INRA,* **54,** 61-72.

INRA, 1978. *Alimentation des Ruminants.* Chapitres 2 et 12. Ed. INRA Publications, 78000 Versailles.

INRA, 1978. «*Alimentation des Ruminants*», Ed. INRA Publ., Versailles, p. 297-344.

INRA, ITEB, EDE, 1981. *Pratique de l'alimentation des bovins.* Ed. TECHNIPEL, 149 rue de Bercy, 75595 Paris Cedex.

JOURNET M., POUTOUS M., CAOMITI S., 1965. Appétit de la vache laitière. *Ann. Zootech.,* **(1),** 5-37.

KEITH E.A., COLENBRANDER V.F., LECHTENBERG V.L., BAUMAN L.F., 1979. Nutritional value of brown midrib corn silage for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.,* **62,** 788-792.

KUC J., NELSON O.E., 1964. The abnormal lignins produced by the brown midrib mutants of maize. I. The brown midrib mutant. *Arch. Biochem. Biophys.,* **105,** 103-113.

LECHTENBERG V.L., MULLER L.D., BAUMAN L.F., RHYKERD C.C., BARNES R.F., 1972. Laboratory and *in vitro* evaluation of inbred and F 2 population of brown midrib mutants of *Zea mays. Agron.* J., **64,** 657-660.

MALTERRE C., 1976. Utilisation du maïs sous différentes formes pour la production de viande de jeunes bovins. *Bull. tech. CRZV Theix, INRA* **(24),** 63-74.

MULLER L.D., BARNES R.F., BAUMAN L.F., COLENBRANDER V.F., 1971. Variation in lignin and other structural components of brown midrib mutants of maize. *Crop Sci.,* **11,** 413-415.

MULLER L.D., LECHTENBERGER V.L., BAUMAN L.F., BARNES R.F., RHYKERD C.L., 1972. *In vivo* evaluation of a brown midrib mutant of *Zea mays. J. anim. Sci.,* **35,** 883-889.

RAYMOND F., CITRON G., 1982. Etude de la valeur alimentaire du maïs « Brown Midrib » pour la production de taurillons Montbéliards. Influence de la variété. Compte rendu d'essai ITCF Boigneville 512.

ROBELIN J., GEAY Y., 1975 a. Estimation de la composition des carcasses des jeunes bovins à partir de la composition d'un morceau monocostal prélevé au niveau de la 11e côte. I. Composition anatomique de la carcasse. *Ann. Zootech,* **24,** (3), 391-402.

ROBELIN J., GEAY Y., 1975 b. Estimation de la composition de la carcasse de taurillons à partir de la composition de la 6e côte. *Bull. tech. CRZV Theix, INRA,* **22,** 41-44.

ROOK J.A., MULLER L.D., SHANK D.B., 1977. Intake and digestibility of brown midrib corn silage by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.,* **60,** 1894-1904.

SOMMERFELDT J.L., SCHINGOETHE D.J., MULLER L.D., 1979. Brown midrib corn silage for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.,* **62,** 1611-1618.

TROCCON J.L., RULQUIN H., JOURNET M., 1979. Capacités d'ingestion comparées des vaches primipares et multipares. *Bull. tech. CRZV Theix, INRA,* **36,** 43-48.

VERITE R., HODEN A., JOURNET M., 1970. Journées AGPM, ITCF, ITEB sur le maïs plante fourragère. p. 145-165, et *Bull. tech. CRZV Theix, INRA*, **1**, 21-40.

VERITE R., HODEN A., JOURNET M., 1973. Numéro Spécial « *L'élevage* ». Le maïs sous toutes ses faces. p. 157-163.

VERITE R., JOURNET M., 1978. Chapitre 12 : vaches laitières. In : *Alimentation des Ruminants*. Ed. INRA Publ., 78000 Versailles.

VERITE R., JOURNET M., REMOND B., 1979. Energy supplementation of maize silage rations for dairy cows. *Proceedings of the First European maize Congress*. Cambridge, p. 307-315.

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1985 (60) 59-82

Enquête éco-pathologique continue :

4. Répartition temporelle des pathologies majeures en élevage bovin laitier

B. FAYE, J.C. FAYET
avec la collaboration technique de M. GENEST
Laboratoire d'Ecopathologie

L'étude de la répartition des pathologies d'élevage dans l'espace et dans le temps constitue l'un des objectifs affirmés de l'enquête écopathologique continue (EEPC) (BARNOUIN, 1980). La « photographie » de la pathologie dans les départements visés par l'E.E.P.C. (Finistère, Loir et Cher, Lot, Mayenne, Haute-Marne et Haute-Vienne) est l'objet de plusieurs publications (BROCHART *et al.*, 1984a ; FAYE *et al.*, 1985a). L'étude de l'évolution des fréquences pathologiques dans le temps ne constitue qu'un descriptif, mais représente néanmoins un intérêt épidémiologique évident, la stratégie des mesures prophylactiques à mettre en place, devant s'adapter aux variations temporelles des situations pathologiques.

I. Matériel et méthodes

1. Les données

Les données de base sont celles collectées dans le cadre de l'E.E.P.C. (BARNOUIN, 1980) et concernent pour l'étude présente un sous-échantillon représentant 25 p.100 de l'effectif total, correspondant aux animaux soumis à une série d'analyses sérologiques et biochimiques pendant l'ensemble de la durée de l'enquête (juillet 1978 - juin 1982), soit 4304 vaches laitières sur une population de 12054 vaches au total.

Pour ces individus analysés sont répertoriés le numéro de lactation et tous les évènements relatifs à la reproduction et en particulier les dates de vêlage. Sont répertoriées également les dates d'apparition des différentes pathologies. Les maladies observées de nouveau sur un même animal, moins de 90 jours après une première observation, ne sont pas prises en compte, car nous nous sommes intéressés à l'apparition de la pathologie plutôt qu'à sa durée ou à ses récidives trop rapprochées les unes des autres (récidives dont on ne peut affirmer l'indépendance les unes par rapport aux autres).

Ces animaux proviennent de 71 exploitations réparties en : 28 dans le Finistère, 15 en Mayenne, 11 en Haute-Marne, 11 dans le Lot et 6 en Haute-Vienne. Les définitions des pathologies ou groupes de pathologies sont publiées par ailleurs (BARNOUIN *et al.*, 1983).

Le tableau 1 donne la liste des codes désignant les pathologies majeures étudiées.

2. Analyses statistiques

L'étude de la répartition temporelle des pathologies étant essentiellement descriptive, les analyses statistiques se résument aux calculs de fréquence et de moyenne. La détermination de la valeur du Khi2 est réalisée dans les tests de probabilité d'indépendance.

Les modèles mathématiques rendant compte de l'évolution des fréquences pathologiques sont déterminés par les calculs de régressions linéaire et non-linéaire. L'effectif pondéré (nombre de vaches présentes mensuellement) qui sert de base aux calculs de fréquence relative, est déterminé en fonction de la date de sortie et d'entrée de chaque animal pendant le mois considéré. Les résultats sont exprimés en nombre de cas observés (fréquence absolue) ou en fréquence relative mensuelle (soit par mois calendaire, soit par mois de lactation) ou annuelle (soit par année civile, soit par numéro de lactation). Dans un numéro de lactation sont considérés tous les évènements pathologiques compris entre 2 vêlages consécutifs.

TABLEAU 1

Signification des codes de pathologie

APP : Perte d'appétit. Pica. Refus du CMV ou du concentré
AVO : Avortement
BOI : Boiterie
DIG : Constipation - Météorisation - Coliques - Arrêt de la rumination
Déplacement de la caillette- Occlusion intestinale - Indigestion
KCJ : Kystes ovariens - corps jaune persistant
MAM : Mammite clinique - Mammite gangréneuse
MET : Ecoulement vulvaire. Métrite. Vaginite. Vulvo-vaginite
NDL : Non-délivrance
PAN : Inflammation de l'espace interdigité. Abcès du pied. Panaris
Phlegmon interdigité. Fourchet. Piétin.
PED : Bleime. Cerise. Contusion de la sole. Ulcère de la sole.
Décollement du sabot. Limace.
PIS : Abcès du pis. Nodules. Induration de la mamelle. Nécrose et/ou gerçure du trayon.
TUM : Congestion de la mamelle. Oedème mammaire.
VEL : Vêlage difficile. Dystocie avec césarienne ou embryotomie.
VIT : Fièvre vitulaire
VMN : Veau mort-né.

II. Résultats

On sait l'importance du vêlage sur l'apparition d'un grand nombre de pathologies. Aussi la fréquence mensuelle est-elle liée à la courbe des vêlages. C'est donc par la description de la répartition des mises-bas que nous commencerons l'exposé des résultats.

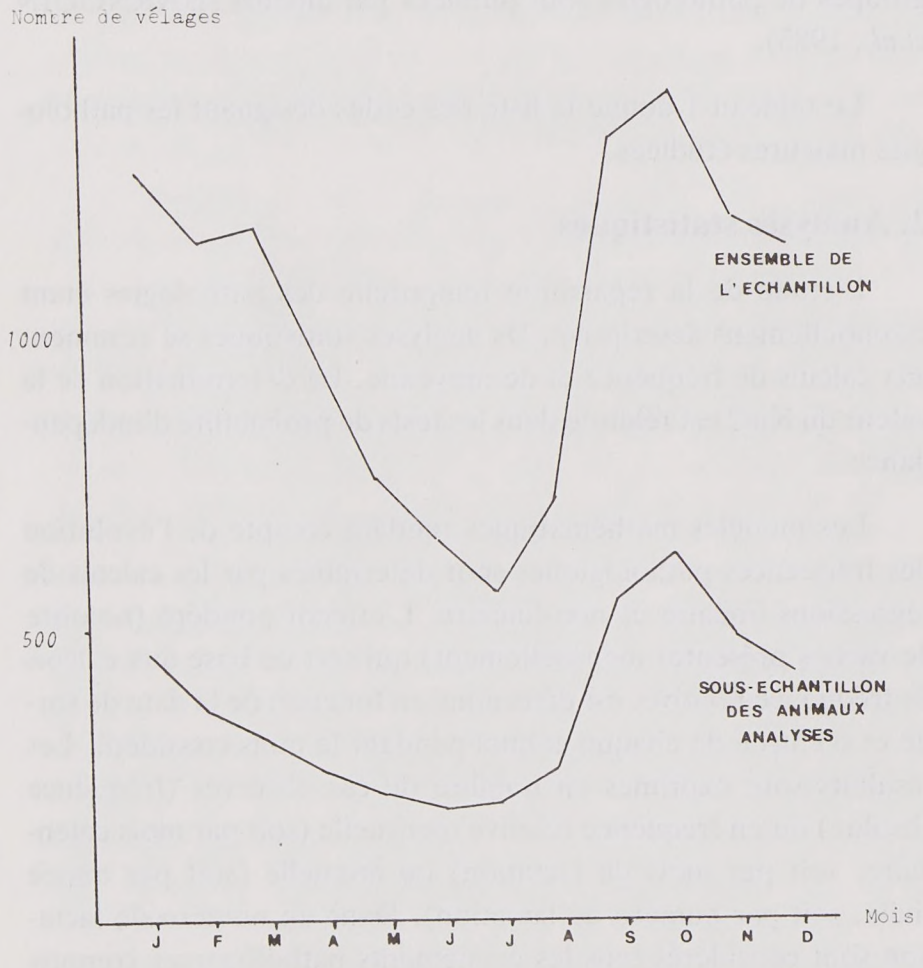


FIG. 1 : *Courbe de vêlages* (fréquences absolues mensuelles)

1. Courbe des vêlages

La répartition mensuelle des vêlages (fig. 1) indique que le pic principal de vêlage a lieu en octobre, suivi d'un second pic en janvier. 61,6 p.100 des mises-bas ont lieu pendant la période de stabulation hivernale (octobre à mars). La courbe obtenue dans le sous-échantillon des animaux analysés n'est pas significativement différente de la courbe de la population. Cette répartition masque une relative diversité inter-départementale (fig. 2). Ainsi dans le département du Finistère (le plus important pour le nombre d'individus dans l'échantillon), le pic de vêlage a lieu en octobre, suivi d'un second pic, moins important, en janvier. Dans la Mayenne, il n'y a qu'un seul pic, très marqué, en septembre. Dans le Lot, le pic principal a lieu en janvier, de même en Haute-Vienne. En Haute-Marne, le pic du vêlage se situe en février.

Les courbes annuelles montrent une stabilité de la répartition entre 1978 et 1981 (fig. 3) avec cependant un décalage d'un mois en 1979 (plateau en octobre-novembre).

2. Répartition mensuelle des pathologies majeures

Le tableau 2 donne les fréquences absolues de toutes les pathologies ou groupes de pathologie pris en compte dans cette étude. Le tableau 3 concerne les effectifs mensuels pondérés. Mammites, métrites et non-délivrance sont les pathologies les plus fréquentes.

a) Pathologie du vêlage

Ce groupe de pathologies est inséparable du vêlage. Il comprend donc le vêlage difficile (VEL), la non-délivrance (NDL), la mortinatalité du veau (VMN), la fièvre vitulaire (VIT). Nous y rattacherons aussi l'avortement (AVO).

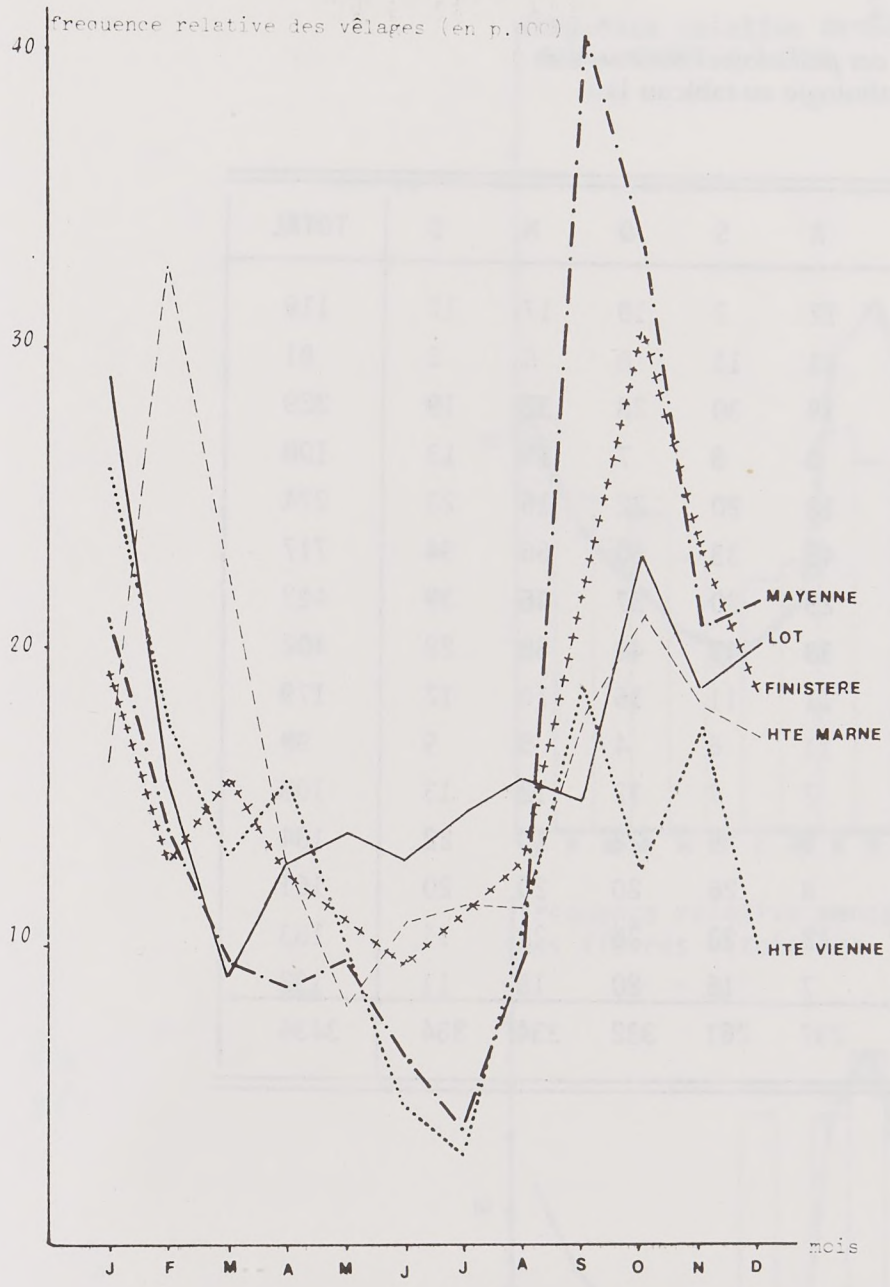


FIG. 2 : *Courbe de vêlages par département* (fréquence relative rapportée à la fréquence annuelle de vêlages)

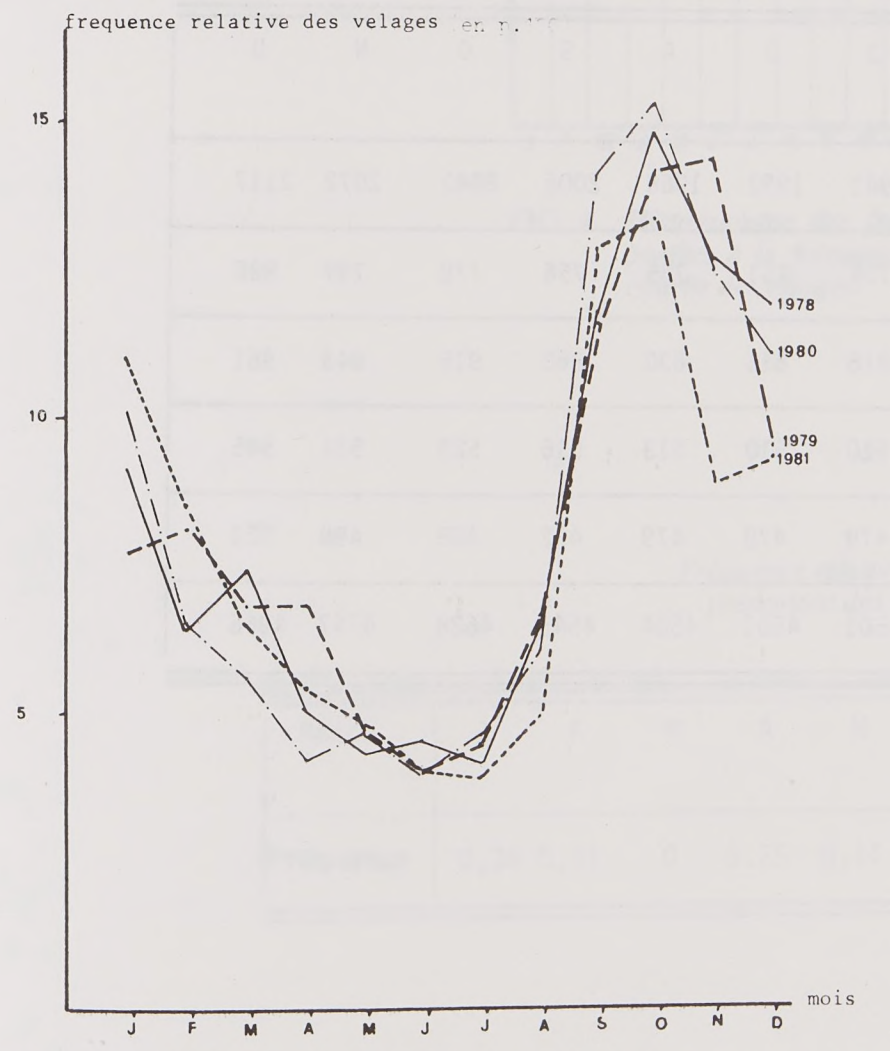


FIG. 3 : *Courbe annuelle des vêlages* (fréquence relative en p.100 rapportée à la fréquence annuelle des vêlages)

La figure 4 illustre la répartition mensuelle des quatre premières pathologies et la figure 5 indique l'écart entre leurs fréquences observées mensuellement et la fréquence théorique (soit la fréquence relative de ces quatre pathologies par rapport à la fréquence mensuelle des vêlages).

La fréquence mensuelle de non-délivrance est significativement différente de la courbe des vêlages ($P < 0,01$), les cas de rétentions placentaires étant relativement plus nombreux au printemps et en été. Il en est de même pour la fréquence mensuelle de fièvre vitulaire, qui est plus importante en période estivale ($P < 0,001$).

En revanche, dystocie et mortinatalité des veaux ne présentent pas de variation saisonnière. La fréquence de mortinatalité chez les vaches à mise-bas difficile (tabl. 4) n'est pas non plus dépendante d'une variation saisonnière significative.

La fréquence mensuelle des avortements montre un décalage de 1 à 2 mois par rapport à la courbe des vêlages, indiquant que la majorité des avortements est observée entre le 7ème et le 8ème mois de gestation (fig. 6).

b) Pathologie mammaire

Ce groupe pathologique comprend la pathologie infectieuse (MAM) et non-infectieuse (PIS, TUM). Leur fréquence est plus importante pendant la période hivernale (fig. 7) puisque d'octobre à mars, on compte 64,2 p.100 des cas de mammites, 72,2 p.100 des cas d'œdème mammaire et 68,5 p.100 des cas de troubles de pis. Cependant, cette fréquence mensuelle est indépendante de celle des mises-bas ($P < 0,001$ pour MAM et TUM, $P < 0,05$ pour PIS). La fréquence élevée des mammites cliniques permet d'analyser plus finement la répartition mensuelle au niveau départemental (fig. 8). La fréquence relative, rapportée à l'effectif mensuel pondéré, est assez constante au cours de l'année dans le département du Finistère, avec cependant une augmentation significative en période de stabulation (61 p.100 des cas de MAM, soit moins que la moyenne générale). Dans le Lot, la fréquence de MAM est particulièrement élevée en janvier-février, mais également pendant la période estivale (juin-juillet-août).

En Haute-Marne, 70 p.100 des cas de MAM sont observés durant la période de stabulation, taux comparable à celui de la Mayenne (68,5 p.100). Ce taux est encore plus élevé en Haute-Vienne (76 p.100), mais compte-tenu du petit nombre de cas observés dans ce département (17 au total) nous n'avons pas figuré la courbe des fréquences.

c) Pathologie podale

Les 3 groupes de pathologies du pied (BOI, PED, PAN) présentent une répartition mensuelle plus régulière (fig. 9). Il n'y a du reste pas d'effet saisonnier significatif lorsque ces groupes sont considérés séparément. En revanche, cet effet existe ($P < 0,025$) lorsque la pathologie podale est considérée dans son ensemble (tabl. 5). La fréquence est plus élevée les quatre premiers mois de l'année (soit en fin de période de stabulation), puis se stabilise aux environs de 1 p.100 les autres mois.

TABLEAU 2

Nombre d'observations mensuelles des pathologies majeures
(cf. signification des codes de pathologie au tableau 1)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
APP	13	13	13	6	5	6	5	12	2	10	17	17	119
AVO	7	4	7	1	6	8	5	13	11	8	8	3	81
BOI	31	35	30	28	18	26	33	19	30	28	32	19	329
DIG	13	10	15	7	9	3	5	3	8	7	15	13	108
KCJ	31	25	29	25	25	17	24	18	20	22	15	23	274
MAM	82	86	73	38	43	53	44	45	33	60	66	94	717
MET	52	54	50	25	29	20	11	29	20	37	46	39	412
NDL	44	36	31	34	29	18	27	33	43	40	38	28	402
PAN	19	21	20	18	15	12	14	11	11	16	10	12	179
PED	5	15	11	8	10	4	10	11	6	4	5	9	98
PIS	7	16	14	5	2	7	6	7	7	12	12	13	108
TUM	16	22	5	7	6	6	4	9	5	22	10	22	134
VEL	11	16	7	8	7	8	10	8	26	20	20	20	161
VIT	11	6	12	14	10	13	23	12	23	26	22	11	183
VMN	11	10	11	10	7	1	10	7	16	20	18	11	132
TOTAL	353	369	328	234	221	202	231	237	261	332	334	334	3436

TABLEAU 3

Effectif des vaches laitières pondéré mensuel par département
(moyenne pondérée annuelle de l'effectif : 4599)

Mois Départ.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Finistère	1857	1946	1947	1950	1949	1941	1950	1968	2006	2043	2072	2117
Haute-Marne	751	772	777	767	763	755	751	755	756	778	797	820
Mayenne	812	824	825	824	819	816	815	830	868	915	943	961
Lot	474	502	509	509	511	510	510	513	516	523	531	545
Haute-Vienne	465	470	475	477	480	479	478	479	482	488	498	523
TOTAL	4359	4514	4533	4527	4522	4501	4501	4504	4545	4628	4747	4966

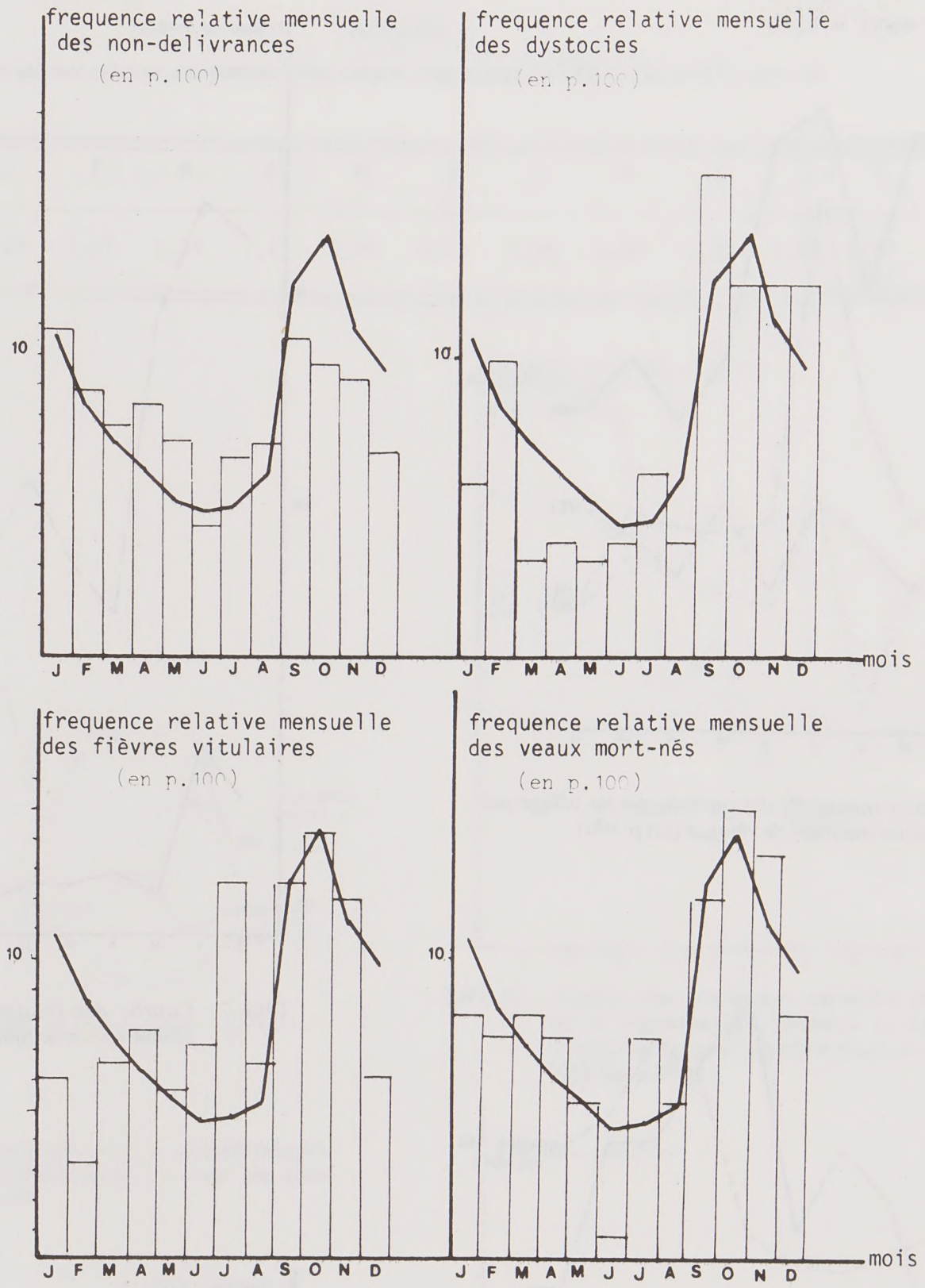


FIG. 4 : *Histogramme des fréquences mensuelles des pathologies du vêlage rapportées à la fréquence annuelle des pathologies concernées* (en p.100) *et courbe des vêlages.*

TABLEAU 4

Fréquence relative de mortinatalité chez les vaches présentant des difficultés de vêlage (en p.100)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
Fréquence	0,36	0,31	0	0,25	0,14	0,12	0,10	0,37	0,30	0,15	0,20	0,15	0,22

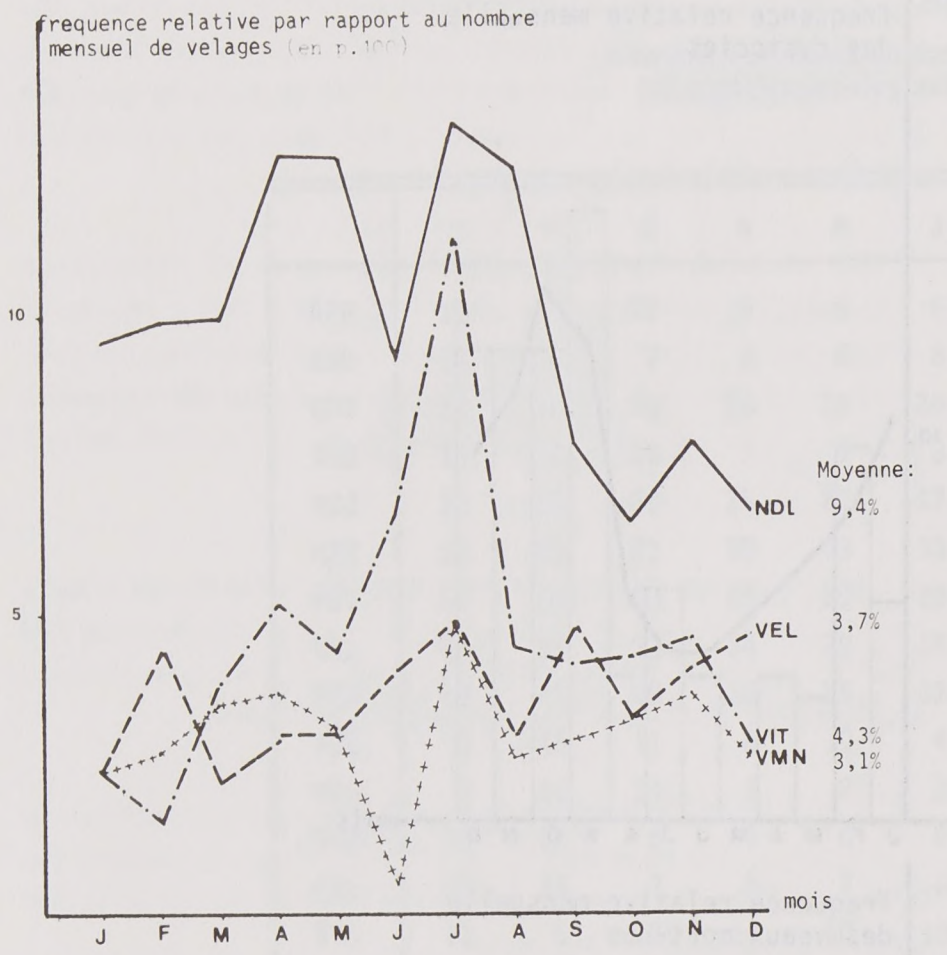


FIG. 5 : *Fréquence relative mensuelle des pathologies du vêlage par rapport au nombre mensuel de vêlages* (en p.100)

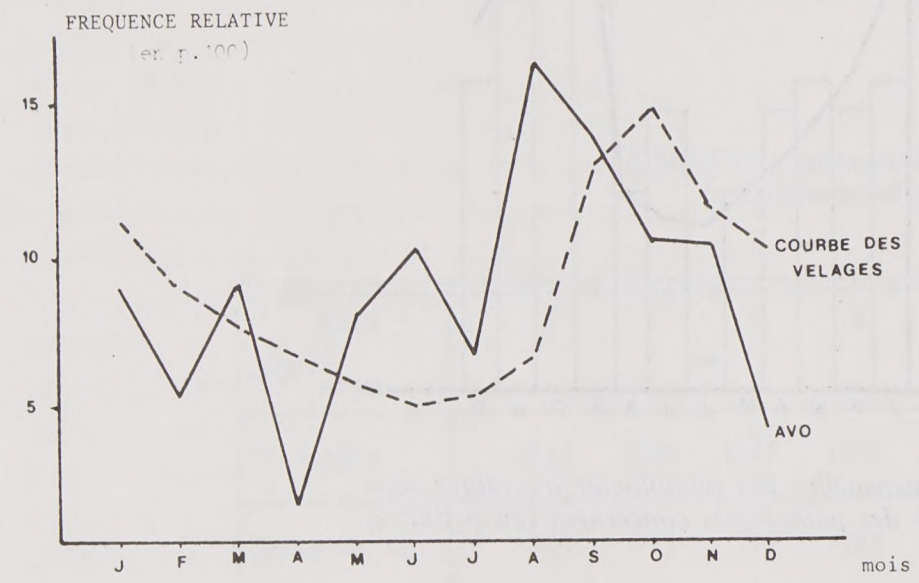


FIG. 6 : *Fréquence relative mensuelle des avortements et courbe des vêlages* (en p.100)

d) Pathologie de la reproduction

Nous regroupons sous cette appellation, les métrites (MET) et les troubles ovariens (KCJ). Ces pathologies sont indépendantes de la courbe des vêlages ($P < 0{,}001$), mais il y a un effet stabulation important pour les métrites (fig. 10) puisque 67 p.100 des cas sont observés entre octobre et mars ($P < 0{,}001$). En revanche, il n'y a pas d'effet saisonnier significatif sur la fréquence des troubles ovariens.

e) Pathologies métabolique et digestive

Il existe un effet saisonnier significatif ($P < 0{,}05$) sur les troubles de l'appétit (APP) et les troubles digestifs (DIG). Les fréquences sont en effet plus élevées en période de stabulation (69 p.100 des cas pour APP et 67,5 p.100 pour DIG) (fig. 11).

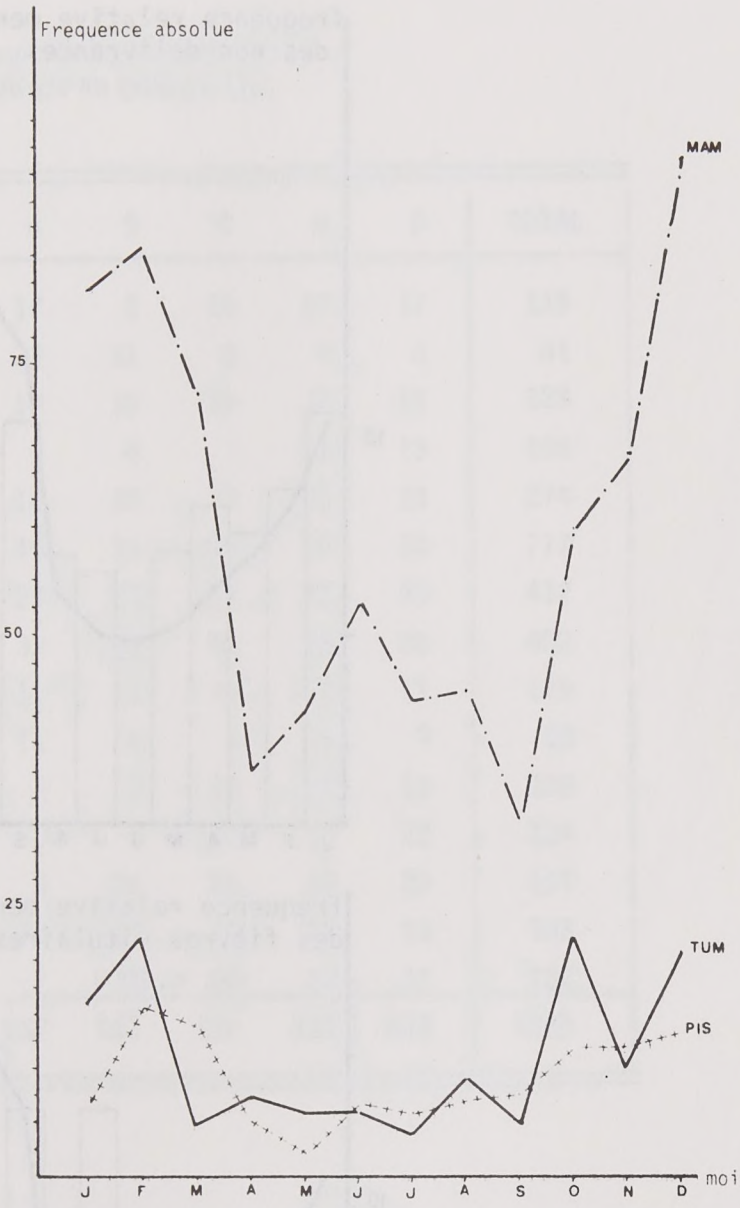


FIG. 7 : *Courbe des fréquences mensuelles absolues des pathologies mammaires*

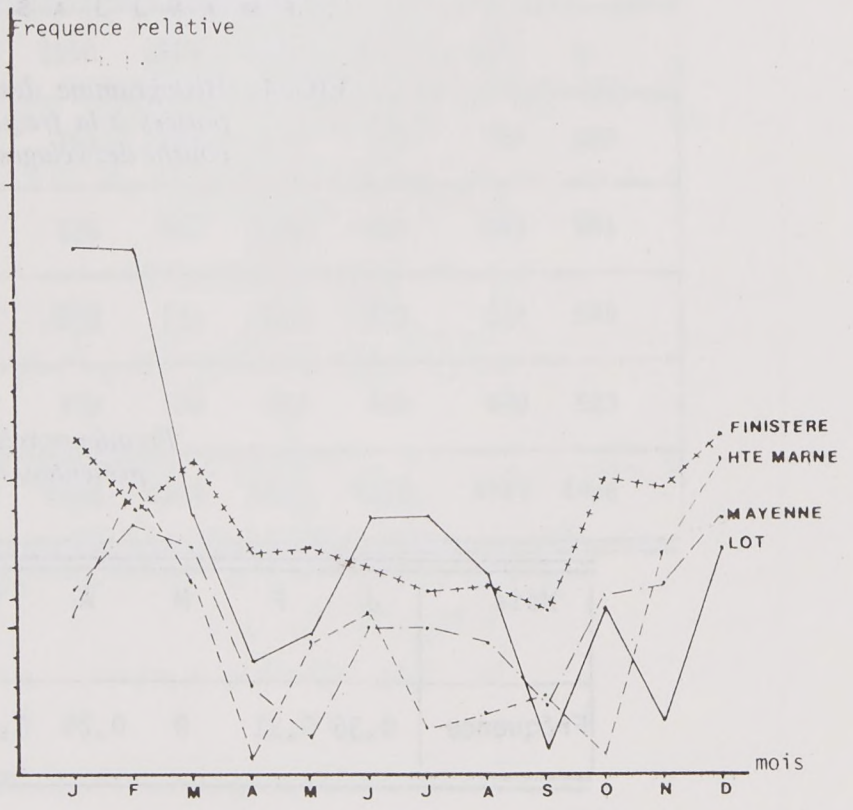


FIG. 8 : *Courbe par département des fréquences mensuelles relatives des mammites cliniques, rapportées à l'effectif pondéré total du sous-échantillon analysé* (en p.100)

TABLEAU 5

Fréquence relative des pathologies podales (rapportée à l'effectif pondéré) en p.100

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Fréquence	1,26	1,57	1,34	1,19	0,95	0,93	1,26	0,90	1,01	1,01	0,97	0,80

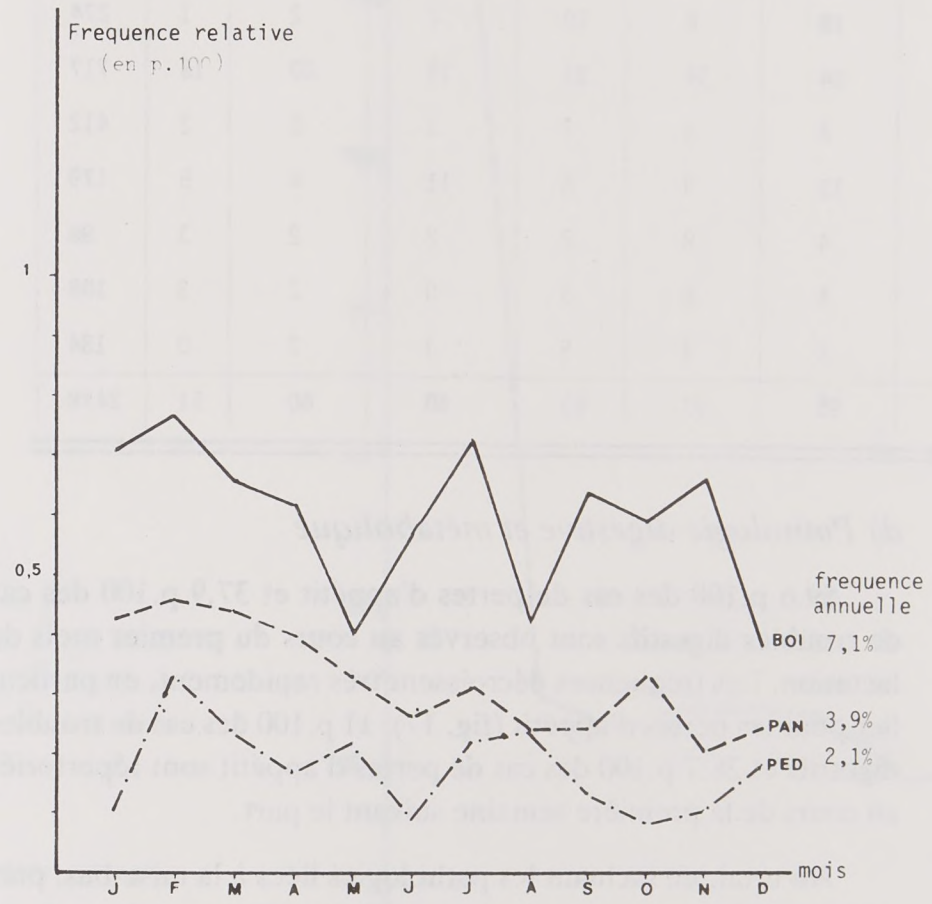


FIG. 9 : *Courbe des fréquences mensuelles relatives des pathologies podales, rapportées à l'effectif pondéré total du sous échantillon analysé* (en p.100)

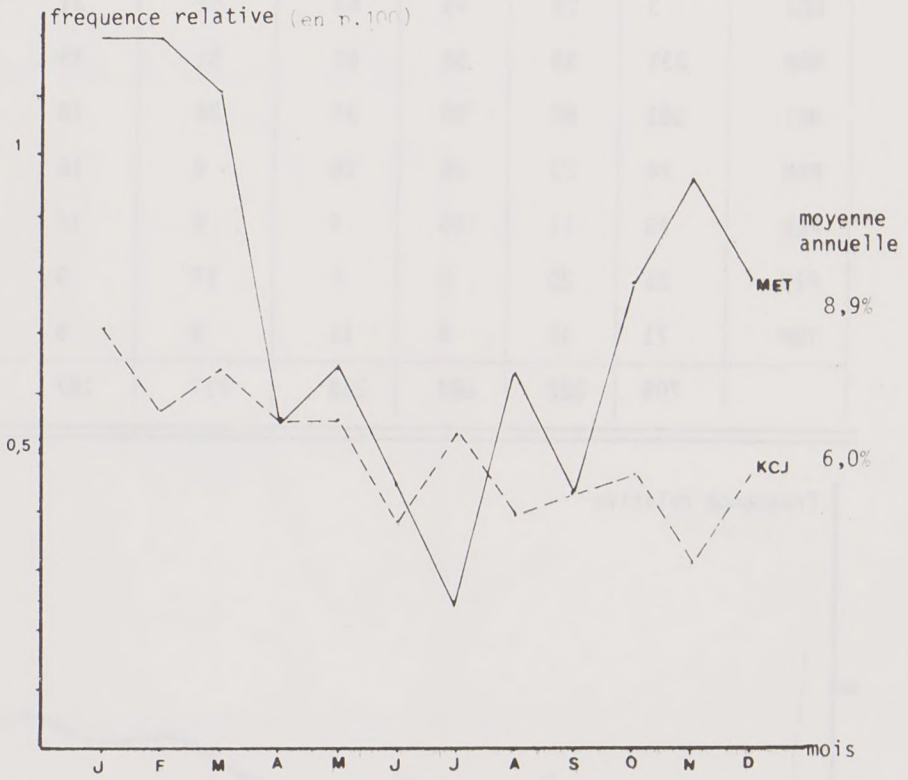


FIG. 10 : *Courbe des fréquences annuelles relatives de pathologie de la reproduction* (métrites et kystes ovariens), *rapportées à l'effectif pondéré total du sous-échantillon analysé* (en p.100)

3. Répartition par mois de lactation

Cette répartition ne concerne bien entendu que les pathologies non liées au part (sauf l'avortement). Le tableau 6 donne les fréquences absolues des cas pathologiques observés par mois de lactation (périodes de 30 jours).

Les avortements sont observés entre le 169ème et le 339ème jour de gestation et pour la plupart (72 p.100), aux 7ème et 8ème mois de gestation.

a) Pathologie mammaire

32,2 p.100 des cas de MAM sont observés au cours du premier mois de lactation. Cette fréquence est de 52,9 p.100 pour TUM et de 23,1 p.100 seulement pour PIS (fig. 12). La répartition hebdomadaire *post-partum* de MAM (fig. 13) indique que c'est au cours de la 1ère semaine que la fréquence observée est la plus élevée (près de 20 p.100 des cas). Dès la seconde semaine, la fréquence relative se stabilise aux alentours de 3-4 p.100, constituant ainsi un « bruit de fond » s'atténuant peu à peu au cours de la lactation, avec une légère augmentation entre le 270ème et le 300ème jour, c'est-à-dire au moment du tarissement (4,7 p.100 des cas).

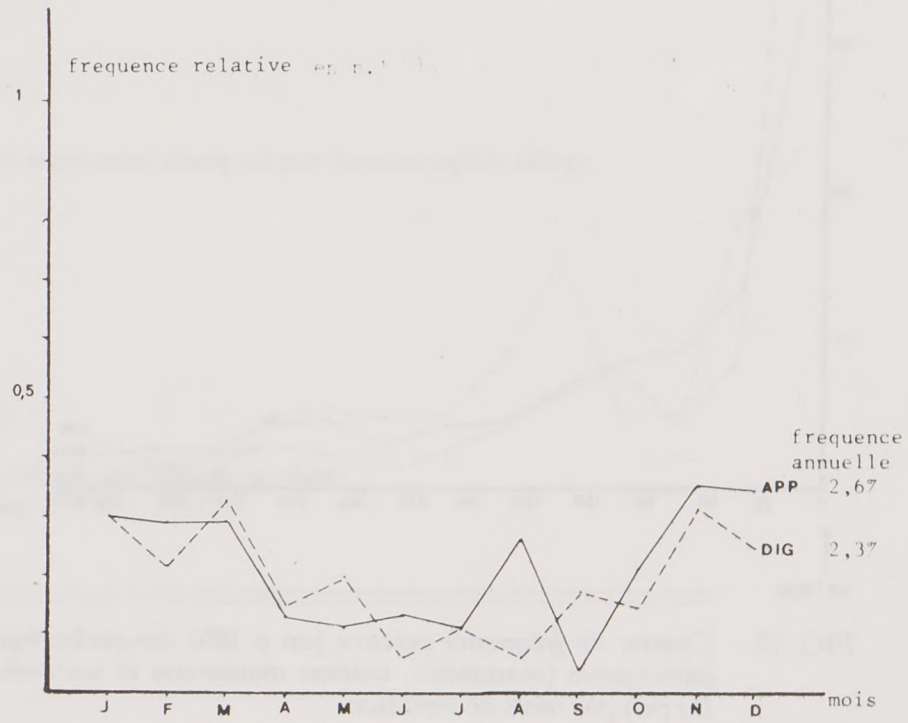


FIG. 11 : *Courbe des fréquences mensuelles relatives de pathologie métabolique et digestive* (pertes d'appétit - troubles digestifs) *rapportée à l'effectif pondéré total du sous-échantillon analysé* (en p.100)

b) Pathologie podale

La répartition observée par mois de lactation laisse ressortir une légère augmentation de la fréquence des pathologies podales (PAN et PED essentiellement) au 3ème mois (fig. 14). Si nous considérons l'ensemble de la pathologie podale (boiteries incluses), nous constatons également que la fréquence la plus élevée est observée au cours de ce 3ème mois (14,3 p.100) (tabl. 7).

TABLEAU 6

Nombre des observations des pathologies majeures par mois de lactation
cf. signification des codes de pathologie au tableau 1)

	0-30	30-60	60-90	90-120	120-150	150-180	180-210	210-240	240-270	270-300	300-330	330-380	360	TOTAL
APP	71	6	8	3	6	5	3	5	4	4	1	2	1	119
BOI	49	35	46	32	31	23	23	13	21	14	21	6	15	329
DIG	41	14	14	6	9	4	4	6	3	0	1	0	6	108
KCJ	3	23	49	63	52	31	13	19	6	10	2	2	1	274
MAM	231	99	68	62	51	33	31	24	34	31	18	20	15	717
MET	181	80	50	37	24	18	8	4	3	2	1	2	2	412
PAN	24	23	26	18	9	16	13	13	9	8	11	4	5	179
PED	13	11	15	9	9	12	8	4	8	2	2	2	3	98
PIS	25	20	5	5	17	9	6	5	6	5	0	2	3	108
TUM	71	12	6	11	9	6	4	2	3	5	3	2	0	134
	709	322	287	246	217	157	113	95	97	81	60	60	51	2478

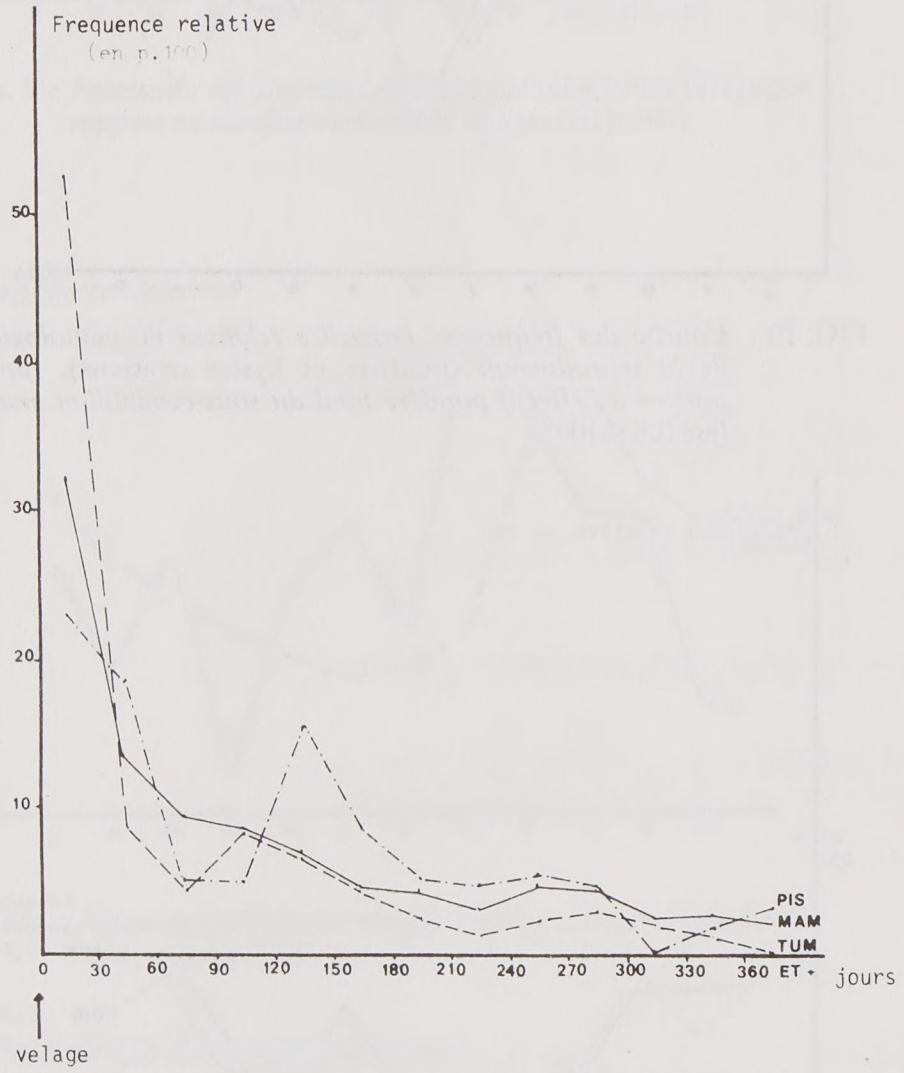


FIG. 12 : *Courbe de fréquence relative* (en p.100) des pathologies *mammaires* (mammites, œdème mammaire et anomalies du pis) *par mois de lactation.*

c) Pathologie de la reproduction

Près de 44 p.100 des cas de métrites sont observés au cours du 1er mois après le vêlage (fig. 15). La répartition hebdomadaire (fig. 16) montre que le maximum de cas est observé au cours de la 2ème semaine qui suit le part (13,1 p.100). Pour les troubles ovariens, la fréquence la plus importante est observée au 4ème mois (22,9 p.100). Plus de la moitié des troubles (59,6 p.100) sont diagnostiqués entre le 3ème et le 5ème mois de lactation.

d) Pathologie digestive et métabolique

59,6 p.100 des cas de pertes d'appétit et 37,9 p.100 des cas de troubles digestifs sont observés au cours du premier mois de lactation. Les fréquences décroissent très rapidement, en particulier pour les pertes d'appétit (fig. 17). 11 p.100 des cas de troubles digestifs et 28,7 p.100 des cas de pertes d'appétit sont répertoriés au cours de la première semaine suivant le part.

Au total, en incluant les pathologies liées à la mise-bas, près de la moitié des cas pathologiques (48,5 p.100) sont observés au cours du premier mois de lactation.

La décroissance des fréquences pathologiques au cours de la lactation répond à deux types de modèle mathématique :

- *Régression asymptotique* $Y = A + B / X$

C'est le cas de MAM, MET, TUM, APP et DIG (fig. 18). Les coefficients de corrélation calculés sont tous hautement significatifs ($P < 0{,}001$), en particulier pour MET ($r = 0{,}997$) et MAM ($r = 0{,}983$).

- *Régression linéaire* $Y = A + BX$

C'est le cas des 3 groupes de pathologie podale (fig. 19). Les coefficients de corrélation sont sensiblement améliorés pour BOI et PAN par une équation de régression du type $= A + B\sqrt{X}$. Il n'y a pas de différences significatives entre les courbes correspondant aux 3 pathologies considérées.

La décroissance des fréquences de PIS répond à un modèle logarithmique ($Y = A + B \log X$). Quant à la courbe de fréquence de KCJ, aucun des modèles testés n'est significatif. L'allure générale de la courbe se rapproche toutefois d'un modèle quadratique (fig. 20) ou oscillatoire.

4. Répartition par numéro de lactation

La fréquence des pathologies majeures par numéro de lactation (tabl. 8) manifeste des évolutions variables suivant les pathologies considérées. Les pathologies du vêlage (VEL, VMN) diminuent au cours des lactations successives, mais cette décroissance n'est significative que pour VMN.

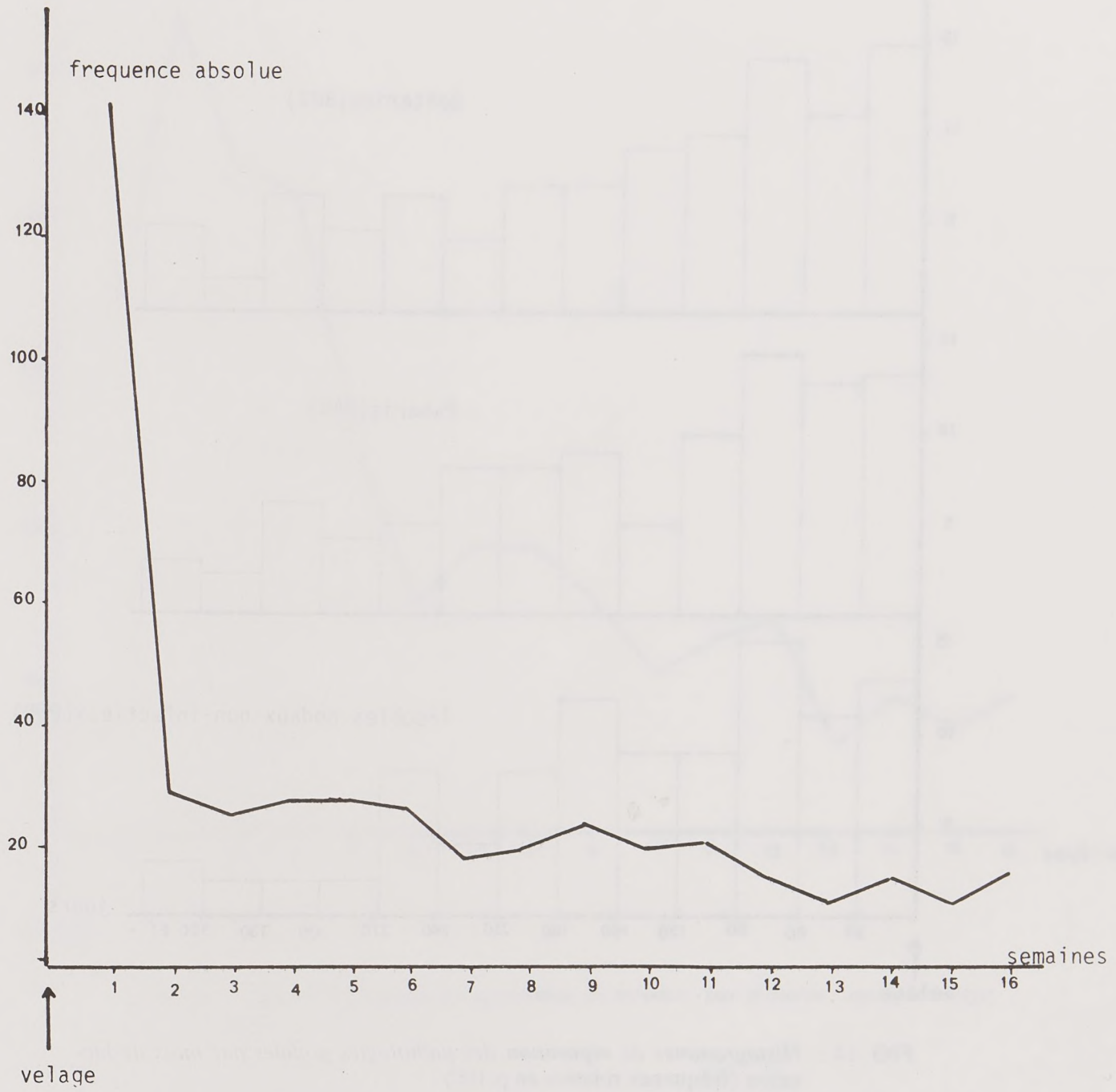


FIG. 13 : *Courbe de fréquence d'apparition des mammites cliniques par semaine après vêlage*

TABLEAU 7

Fréquence relative (en p.100) de toutes les pathologies podales par mois de lactation (BOI + PAN + PED).

Mois de lactation	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	+12
Fréquence relative	14,2	11,3	14,3	9,7	8,0	8,4	7,2	4,9	6,2	3,9	5,6	1,9	3,8

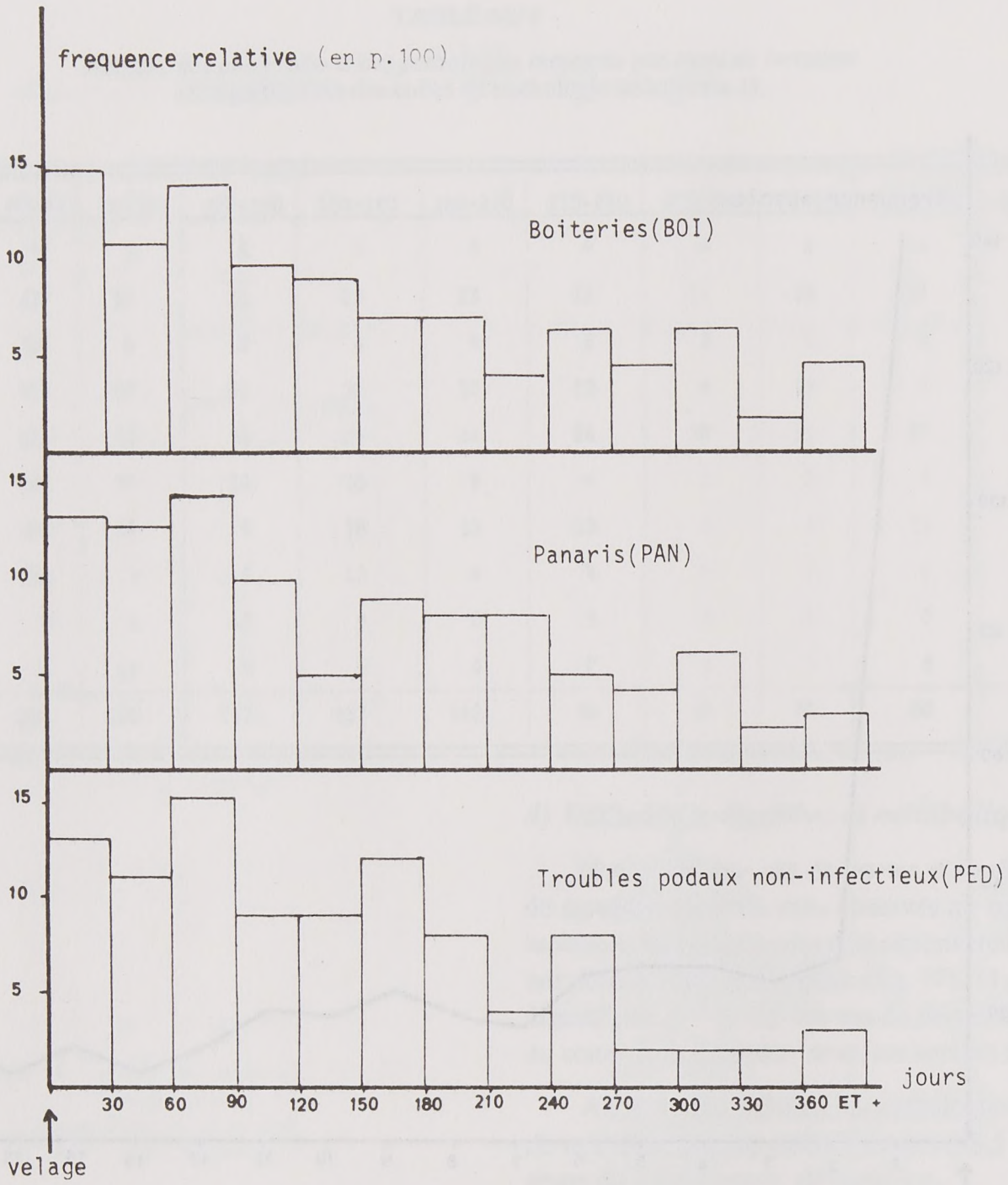


FIG. 14 : *Histogrammes de répartition des pathologies podales par mois de lactation* (fréquence relative en p.100)

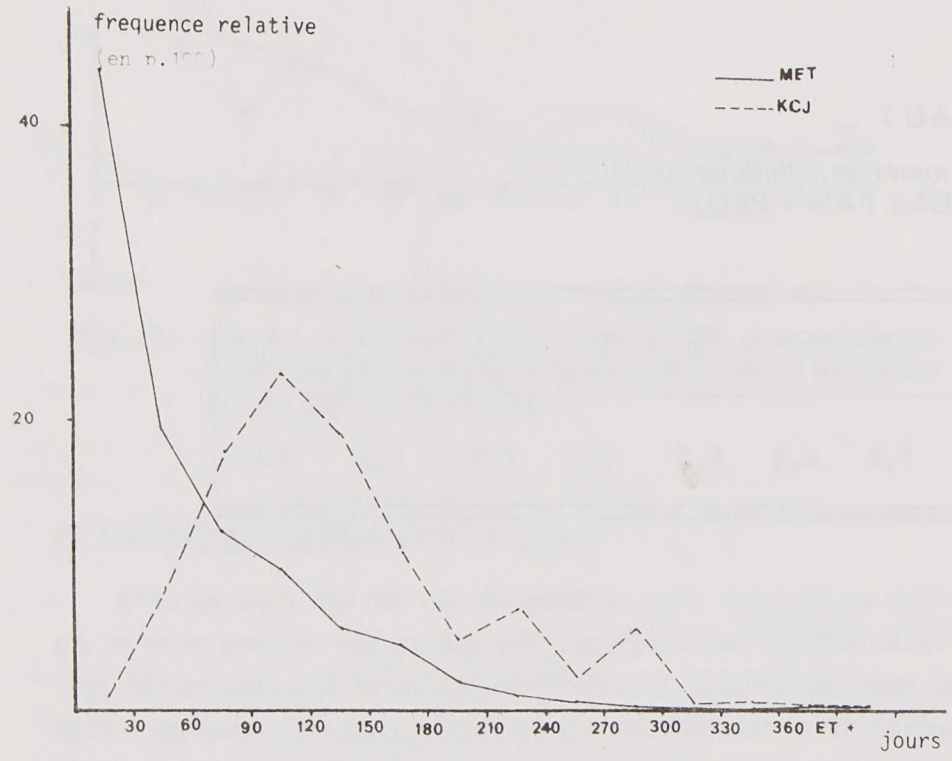


FIG. 15 : *Courbe de répartition des pathologies de la reproduction par mois de lactation* (fréquence relative en p.100)

En revanche, NDL et surtout VIT sont plus fréquents chez les animaux âgés (fig. 21).

La plupart des autres pathologies ont tendance à augmenter avec le numéro de lactation mais cette évolution n'est significative que pour les mammites et la pathologie podale (PAN, BOI).

5. Répartition annuelle

La variation annuelle des fréquences observées au cours des quatre périodes d'observations (périodes allant de juillet à juin) est non significative pour 4 pathologies seulement (tabl. 9), soit AVO, KCJ, NDL et TUM. Cette variation est hautement significative pour BOI, MAM et MET. Il semble que la période T2 (79-80) soit plutôt défavorable pour la plupart des pathologies (maximum des fréquences observées pour APP, AVO, KCJ, MAM, MET, NDL, PAN, PIS). La fréquence la plus élevée est constatée au cours de la période T3 (80-81) pour BOI, DIG, PED, TUM, VEL, VIT et VMN. Les périodes de début et de fin des observations (T1 et T4) présentent des fréquences généralement bien plus faibles.

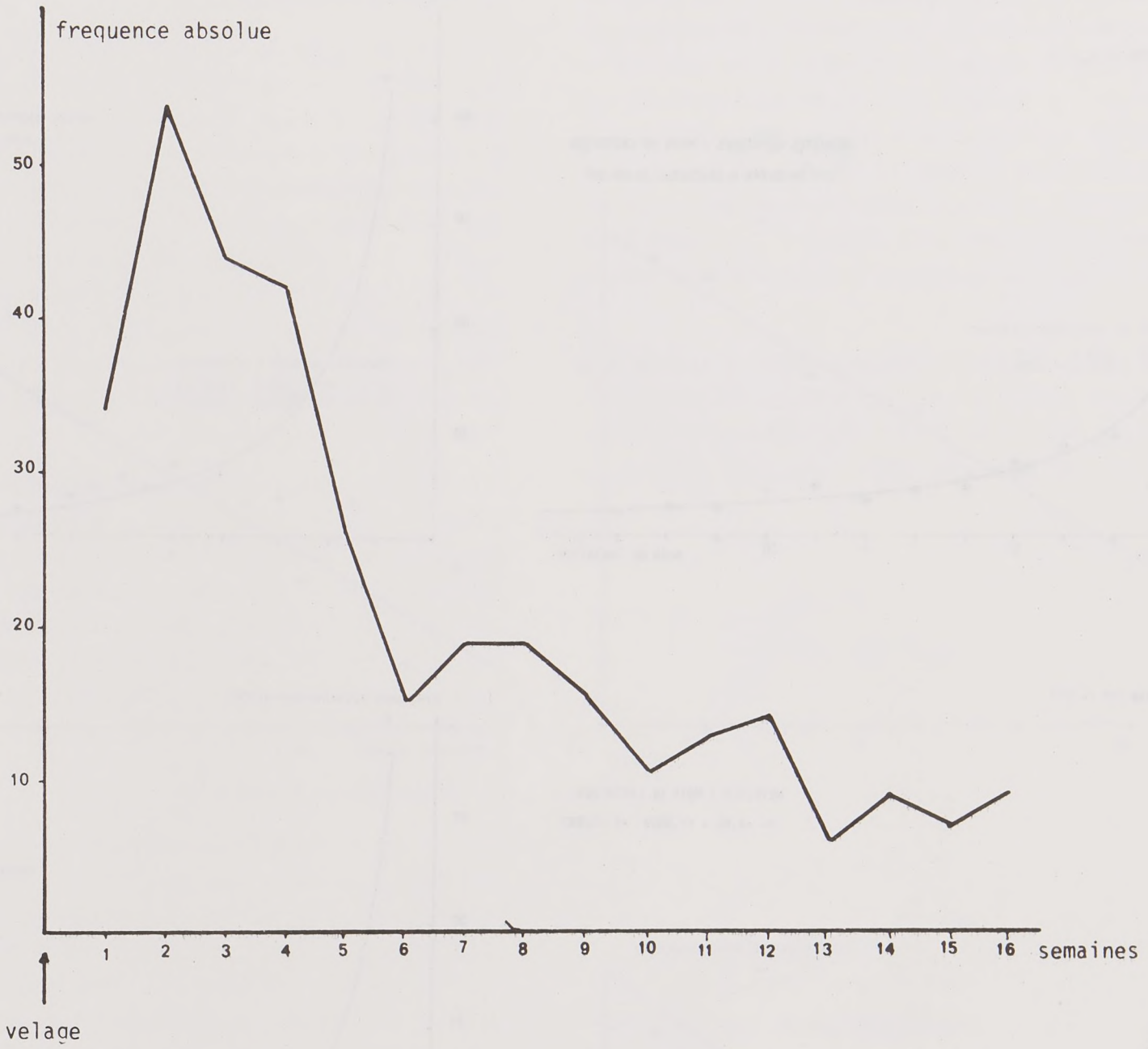


FIG. 16 : *Courbe de fréquence d'apparition de métrites, par semaine , après le vêlage*

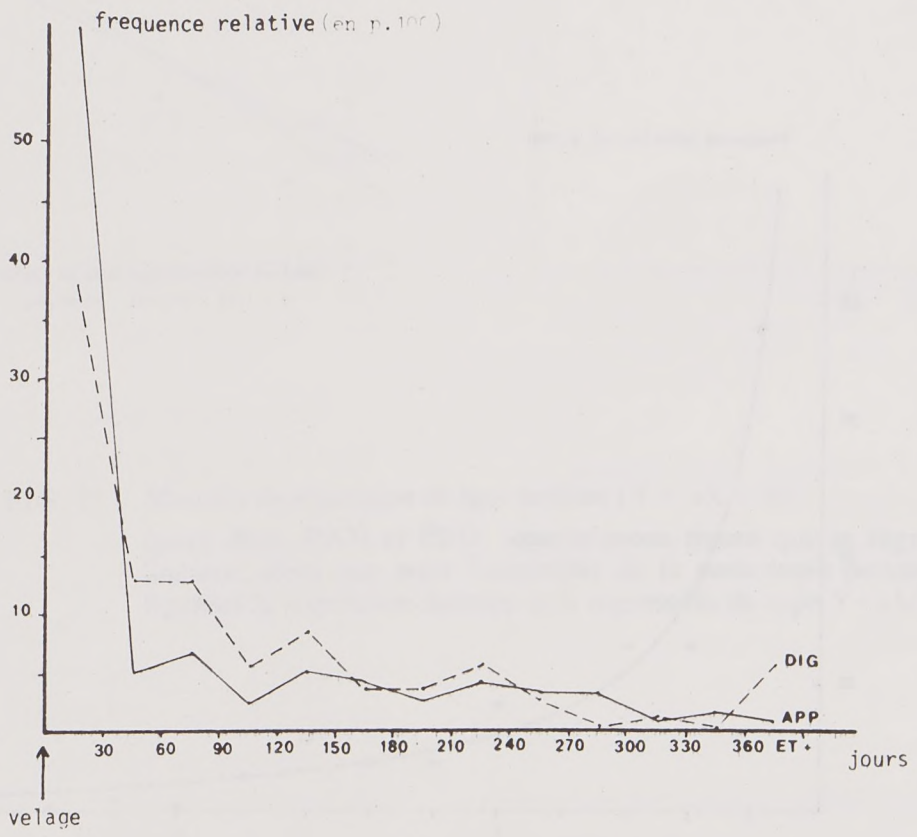
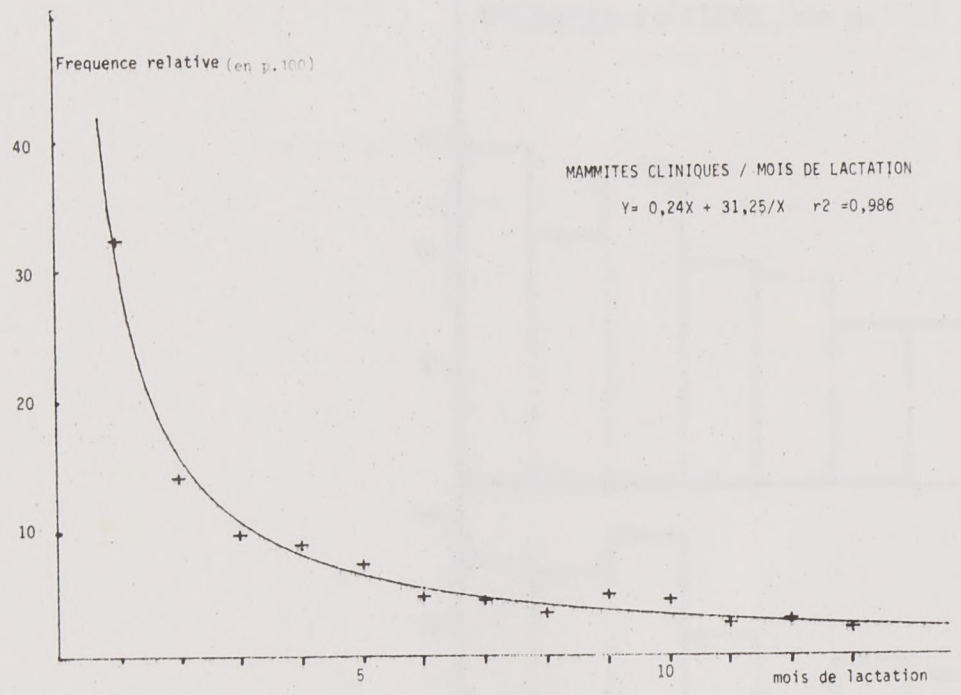
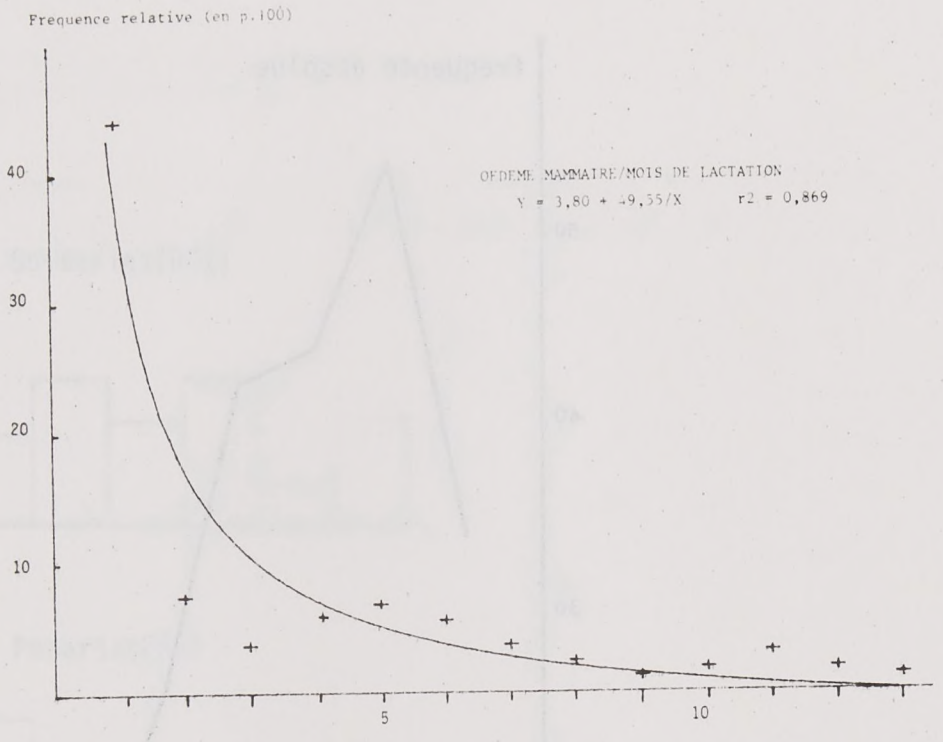
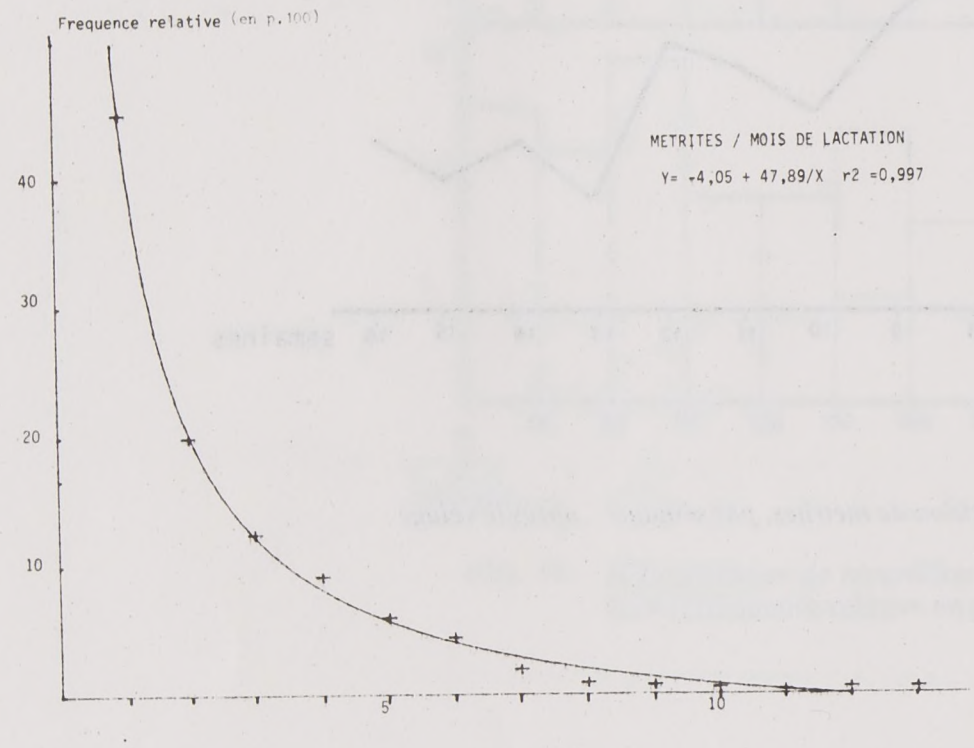
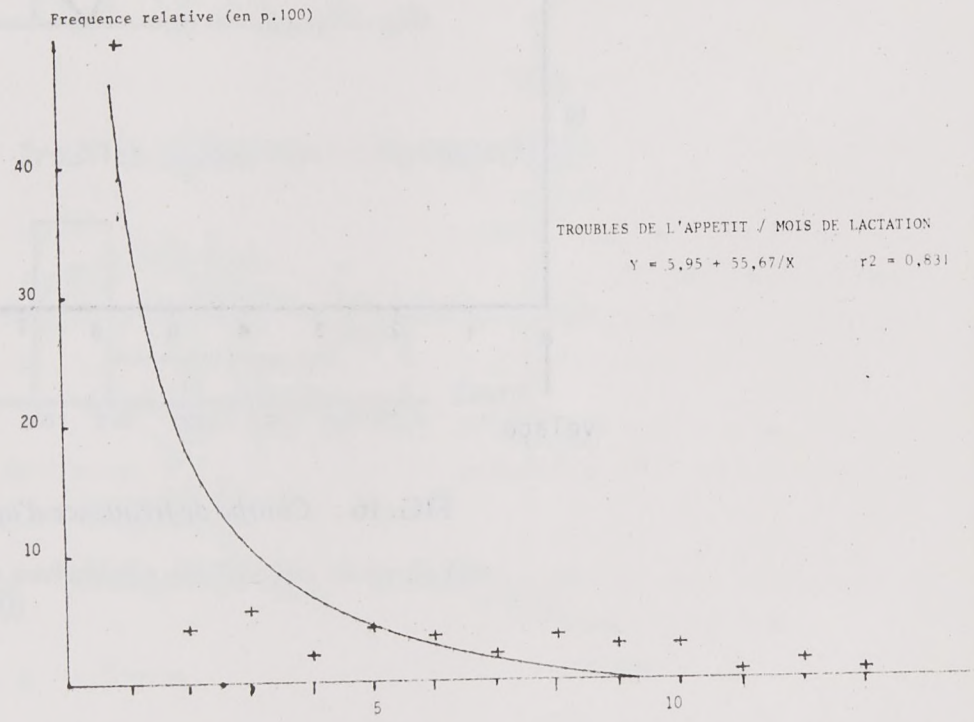


FIG. 17 : *Courbe de fréquence relative* (en p.100) *des pathologies métaboliques et digestives par mois de lactation*









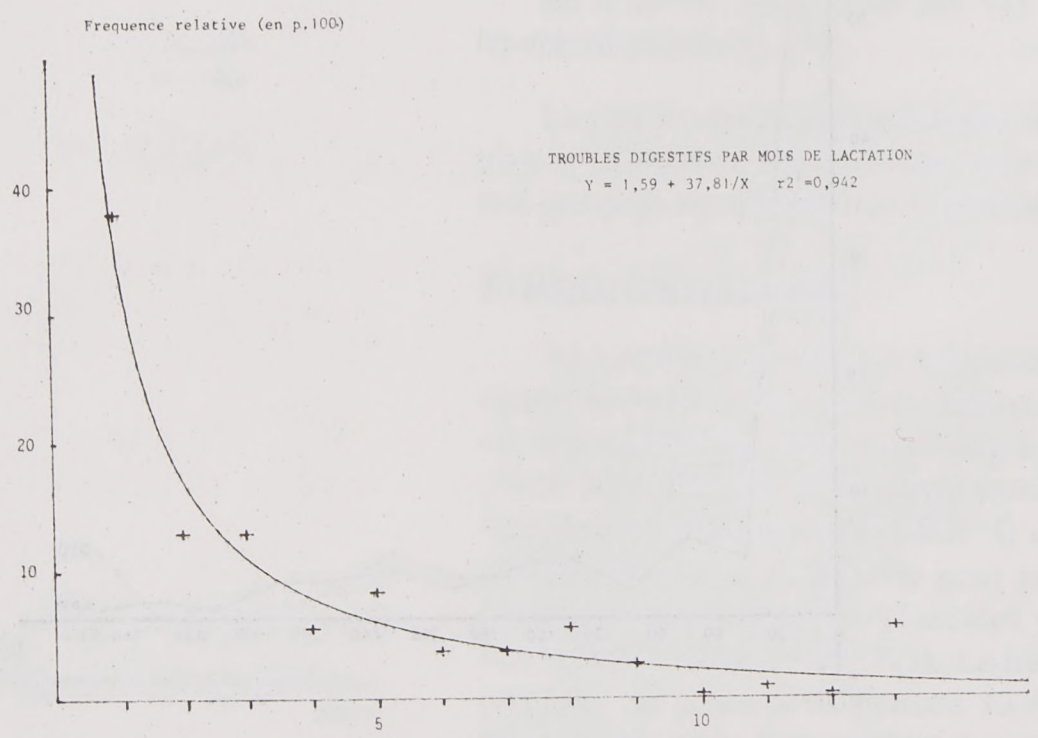
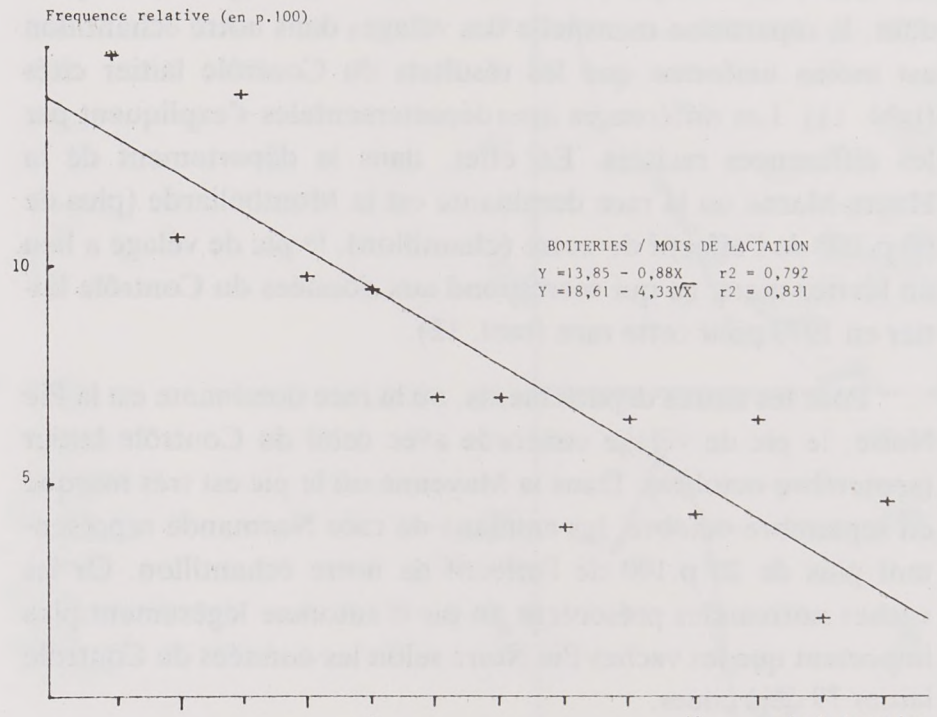
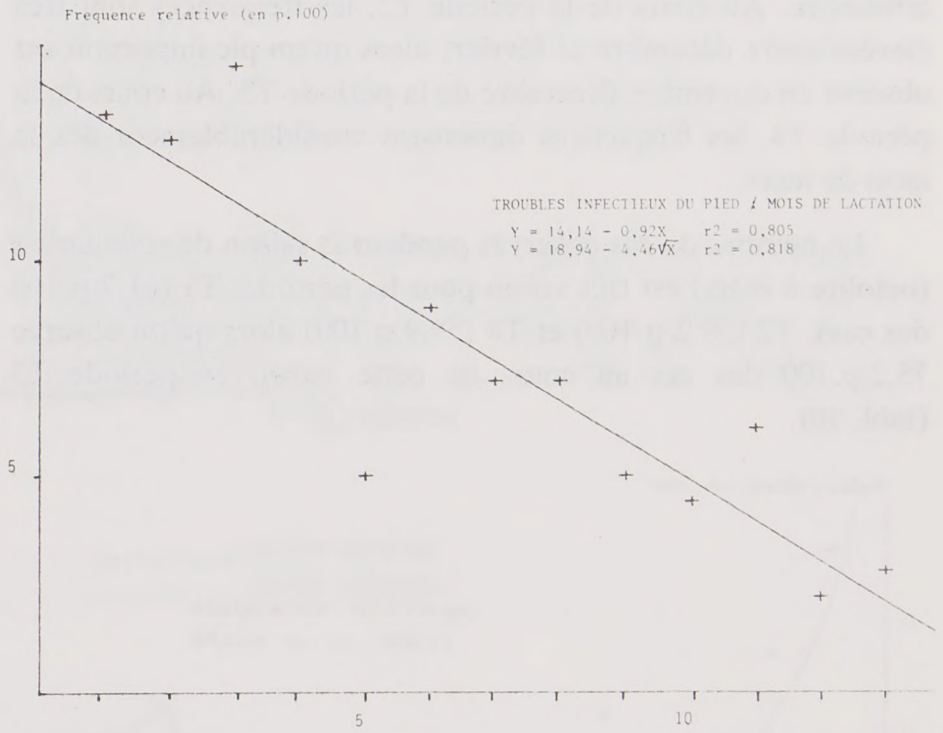
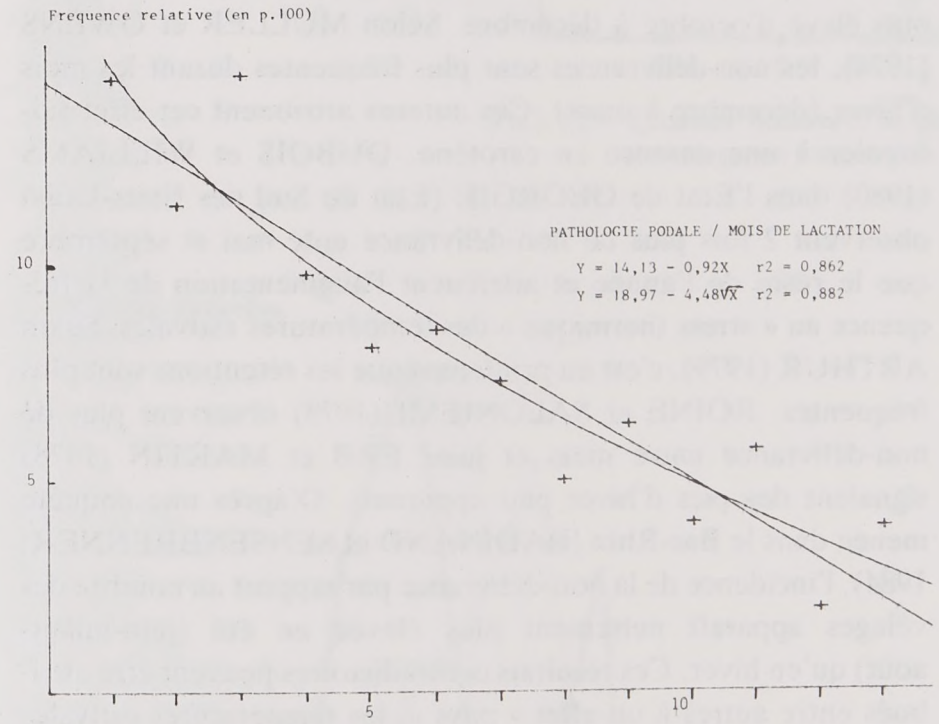


FIG. 18 : *Modèles de régression de type asymptotique* (Y = A + B/X)







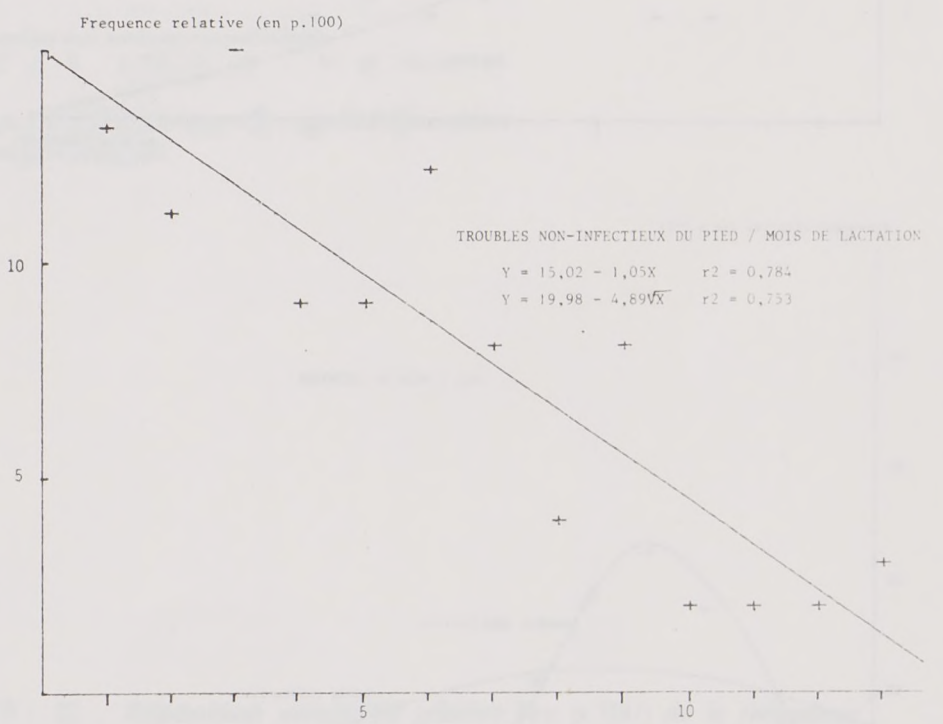


FIG. 19 : *Modèles de régression de type linéaire* ($Y = aX + b$)
(pour BOI, PAN et PED, nous n'avons figuré que la régression linéaire, alors que pour l'ensemble de la pathologie podale sont figurées la régression linéaire et la régression du type $Y = a\sqrt{X} + b$)

L'analyse de la répartition mensuelle au cours des périodes annuelles successives est possible pour MAM, compte-tenu du nombre élevé des cas de mammites cliniques. Cette répartition (fig. 22) est éminemment variable selon la période considérée. La période T1 présente des fréquences plutôt faibles de juillet à novembre. Au cours de la période T2, les fréquences sont très élevées entre décembre et février, alors qu'un pic important est observé en novembre décembre de la période T3. Au cours de la période T4, les fréquences diminuent considérablement dès le mois de mars.

Le nombre de cas observés pendant la saison de stabulation (octobre à mars) est très voisin pour les périodes T1 (61,7 p.100 des cas), T2 (59,2 p.100) et T4 (59,9 p.100) alors qu'on observe 75,2 p.100 des cas au cours de cette saison en période T3 (tabl. 10).

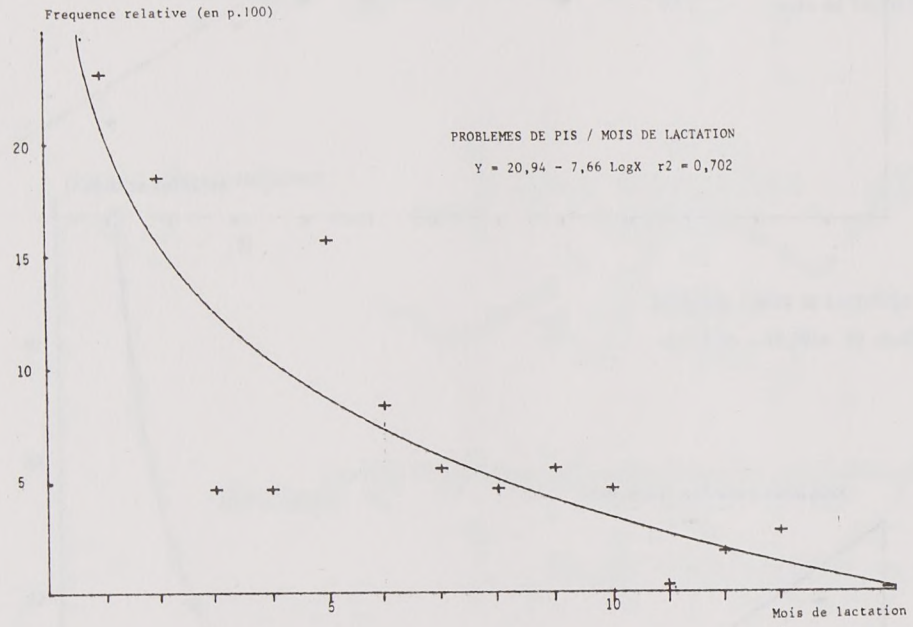


FIG. 20 : *Modèle de régression pour PIS* (type logarithmique) *et KCJ* (type quadratique ou oscillatoire).
Pour KCJ, le modèle quadratique est non significatif

III. Discussion

Nous envisagerons la discussion selon le plan adopté pour l'exposé des résultats, c'est à dire successivement, la courbe des vêlages, la répartition mensuelle, la répartition par mois de lactation, la répartition par numéro de lactation et la répartition annuelle.

1. Courbe des vêlages

Les résultats du Contrôle laitier 1979 montrent que 63 à 65 p.100 des vêlages en races laitières se répartissent uniformément sur les six mois d'octobre à mars (PACCARD, 1981), chiffre tout à fait comparable à nos résultats (61,2 p.100). Cependant, la répartition mensuelle des vêlages dans notre échantillon est moins uniforme que les résultats du Contrôle laitier cités (tabl. 11). Les différences interdépartementales s'expliquent par les différences raciales. En effet, dans le département de la Haute-Marne où la race dominante est la Montbéliarde (plus de 60 p.100 de l'effectif de notre échantillon), le pic de vêlage a lieu en février-mars, ce qui correspond aux données du Contrôle laitier en 1979 pour cette race (tabl. 12).

Pour les autres départements, où la race dominante est la Pie Noire, le pic de vêlage concorde avec celui du Contrôle laitier (septembre-octobre). Dans la Mayenne où le pic est très marqué en septembre-octobre, les animaux de race Normande représentent plus de 20 p.100 de l'effectif de notre échantillon. Or les vaches normandes présentent un pic d'automne légèrement plus important que les vaches Pie Noire selon les données du Contrôle laitier 79 déjà citées.

2. Répartition mensuelle

La plupart des auteurs constatent un effet saisonnier sur la *rétention placentaire,* mais les avis divergent sur la période. SANDALS *et al.* (1979) notent, au Canada, un taux de non-délivrance plus élevé d'octobre à décembre. Selon MULLER et OWENS (1974), les non-délivrances sont plus fréquentes durant les mois d'hiver (décembre à mars). Ces auteurs attribuent cet effet saisonnier à une carence en carotène. DUBOIS et WILLIAMS (1980) dans l'Etat de GEORGIE (Etat du Sud des Etats-Unis) observent 2 fois plus de non-délivrance ente mai et septembre que le reste de l'année et attribuent l'augmentation de la fréquence au « stress thermique » des températures estivales. Selon ARTHUR (1979), c'est au printemps que les rétentions sont plus fréquentes. ROINE et SALONIEMI (1978) observent plus de non-délivrance entre mars et juin. ERB et MARTIN (1978) signalent des pics d'hiver peu apparents. D'après une enquête menée dans le Bas-Rhin (BADINAND et SENSENBRENNER, 1984), l'incidence de la non-délivrance par rapport au nombre des vêlages apparaît nettement plus élevée en été (juin-juillet-août) qu'en hiver. Ces résultats contradictoires peuvent être attribués entre autres à un effet « pays », les températures estivales élevées dans certaines régions pouvant favoriser le « pic » d'été.

Dans notre échantillon, nous relevons en fait 2 pics : un pic de printemps (avril-mai) et un pic d'été (juillet-août). Le pic de printemps peut être relié à la mise à l'herbe. On sait en effet que l'herbe jeune apporte beaucoup d'acide linoléique, inhibiteur de l'utilisation d'acide linoléique pour la synthèse d'acide arachidonique, précurseur des prostaglandines de la série 2 dont on connaît le rôle important dans la parturition et l'expulsion des membranes (M. CHASSAGNE, comm. pers.). Le pic d'été peut être attribué au « stress thermique » : une température ambiante élevée entraîne selon COLLIER *et al.* (1982), une élévation du taux de progestérone sanguin chez les vaches gestantes et une baisse du taux d'œstrogènes, perturbation pouvant favoriser la rétention des enveloppes fœtales. D'après DUBOIS et WILLIAMS (1980), le pic d'été peut également être dû à une durée

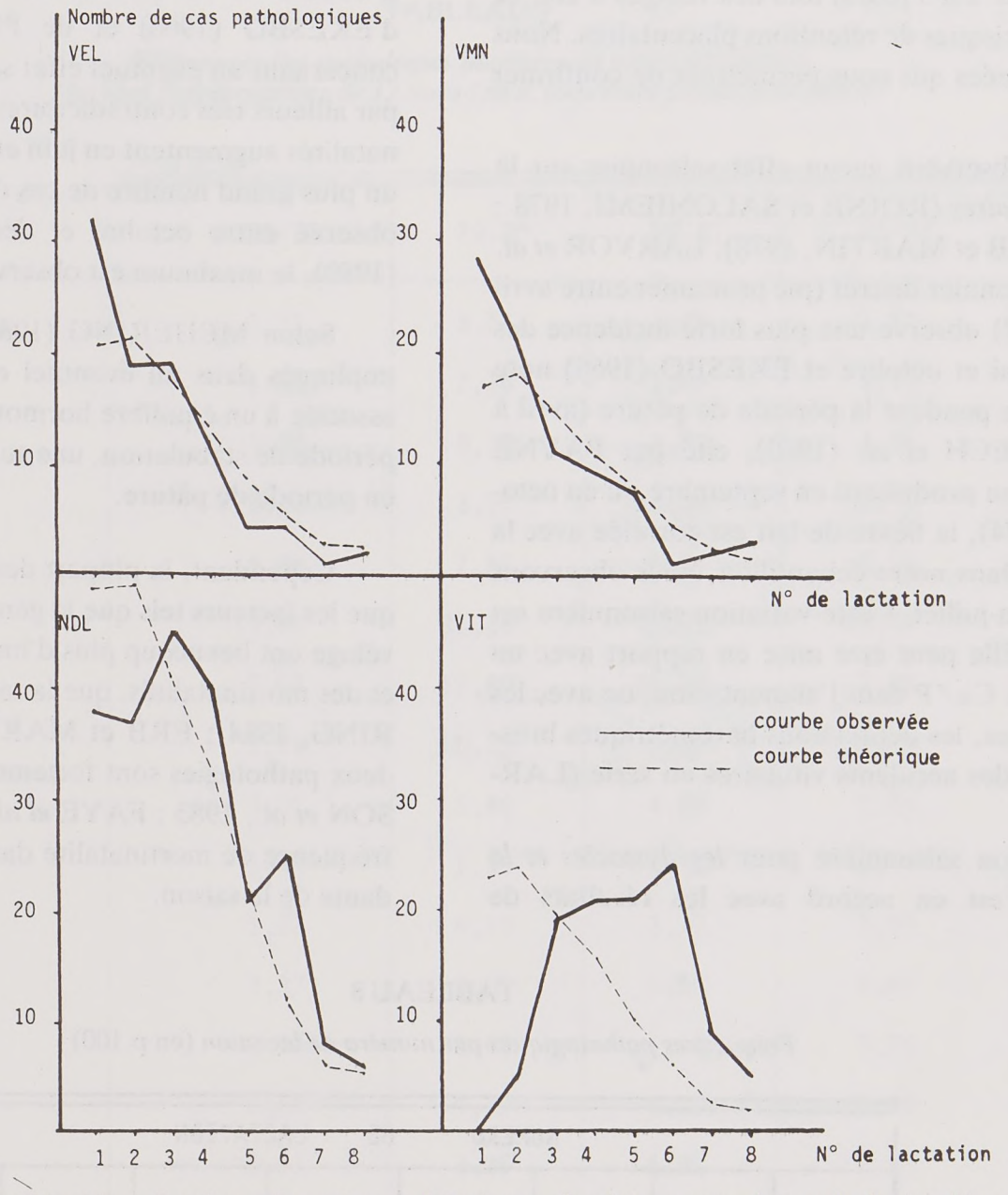


FIG. 21 : *Courbes observées et théoriques des fréquences des pathologies liées au vêlage, en fonction du numéro de lactation*

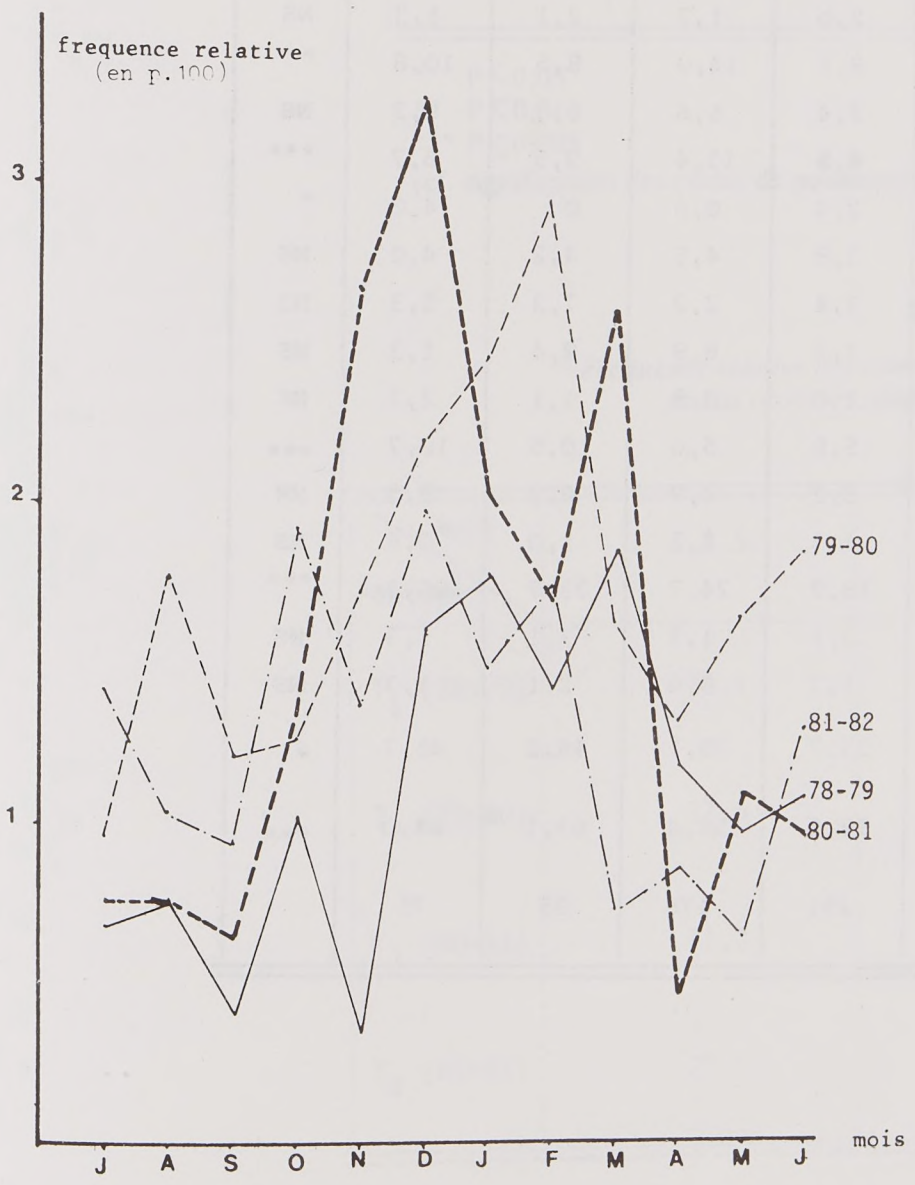


FIG. 22 : *Répartition mensuelle relative* (en p.100) *de la fréquence des mammites cliniques au cours des quatre périodes de l'enquête* (les périodes allant de juillet à juin)

de gestation plus faible (de 2 à 3 jours) lors des vêlages d'été, ce qui suffit à augmenter les risques de rétentions placentaires. Nous ne disposons pas des données qui nous permettent de confirmer ces hypothèses.

Plusieurs auteurs n'observent aucun effet saisonnier sur la fréquence des *fièvres vitulaires* (ROINE et SALONIEMI, 1978 ; DOHOO *et al.*, 1984 ; ERB et MARTIN, 1978). LARVOR *et al.* (1961) notent un effet saisonnier discret (pic printanier entre avril et juin). WITHERS (1957) observe une plus forte incidence des fièvres vitulaires entre mai et octobre et EKESBO (1966) note une fréquence plus élevée pendant la période de pâture (avril à septembre). D'après LEECH *et al.* (1960), cité par PAYNE (1980), la plupart des cas se produisent en septembre ou en octobre. Pour SIMESEN (1974), la fièvre de lait est corrélée avec la pluviométrie hivernale. Dans notre échantillon, nous observons un pic très marqué en juin-juillet. Cette variation saisonnière est souvent mal expliquée. Elle peut être mise en rapport avec un changement de l'équilibre Ca / P dans l'alimentation, ou avec les conditions météorologiques, les dépressions barométriques brusques pouvant provoquer des accidents vitulaires en série (LARVOR *et al.*, 1961).

L'absence de variation saisonnière pour *les dystocies et la mortinatalité des veaux* est en accord avec les résultats de DOHOO *et al.* (1984), de ROINE et SALONIEMI (1978), d'EKESBO (1966) et de PHILIPSON (1976). Les données concernant un éventuel effet saisonnier sur ces 2 pathologies sont par ailleurs très contradictoires. Selon AURAN (1972), les mortinatalités augmentent en juin et juillet. Pour MEIJERING (1984), un plus grand nombre de cas de dystocies et de mortinatalités est observé entre octobre et décembre. Pour ERB et MARTIN (1980), le maximum est observé en hiver.

Selon MEIJERING (1984) plusieurs facteurs peuvent être impliqués dans un éventuel effet saisonnier : la durée du jour associée à un équilibre hormonal, l'exercice physique moindre en période de stabulation, une surveillance moindre des parturitions en période de pâture.

Cependant, la plupart des auteurs s'accordent pour affirmer que les facteurs tels que la gémellité, le sexe des veaux et l'âge au vêlage ont beaucoup plus d'impact sur la fréquence des dystocies et des mortinatalités, que la saison (PHILIPSON, 1976 ; MEIJERING, 1984 ; ERB et MARTIN, 1980 ; AURAN, 1972). Ces deux pathologies sont fortement associées entre elles (THOMPSON *et al.*, 1983 ; FAYE *et al.*, 1985) et d'après nos résultats, la fréquence de mortinatalité dans les cas de dystocies est indépendante de la saison.

TABLEAU 8

Fréquences pathologiques par numéro de lactation (en p.100)

FREQUENCE PATHOLOGIQUE (en p.100)	NUMERO DE LACTATION								
	1	2	3	4	5	6	7	8 et +	
BOI	5,5	5,1	8,6	12,7	11,0	12,9	17,9	14,7	*
AVO	1,6	0,6	1,2	1,3	2,0	1,7	2,1	1,3	NS
NDL	5,9	5,3	8,5	8,9	8,5	14,0	8,5	10,8	*
TUM	2,5	3,2	3,9	3,8	2,4	5,6	6,3	5,3	NS
VIT	0	0,7	3,3	4,7	8,5	13,4	9,5	6,7	***
VMN	4,1	3,0	1,9	2,0	2,4	0,6	0	4,0	*
PED	2,4	2,0	1,9	2,9	3,8	4,5	4,2	4,0	NS
APP	2,5	2,3	2,9	2,4	3,4	2,2	7,3	5,3	NS
MET	8,8	6,3	5,9	7,8	7,9	8,9	9,4	1,3	NS
DIG	0,9	2,6	1,7	0,7	2,0	0,5	1,1	2,7	NS
PAN	3,4	2,8	3,4	6,2	5,8	5,6	10,5	10,7	***
KCJ	5,9	6,3	5,9	7,3	8,2	3,9	6,3	5,3	NS
VEL	4,7	2,7	3,3	2,6	1,3	2,2	1,0	2,6	NS
MAM	10,1	13,3	15,9	19,6	18,9	24,7	33,7	25,3	***
PIS	1,3	3,7	3,3	4,0	3,1	1,7	3,1	1,3	NS
CET	0,2	0,6	0,5	0,9	1,7	0,6	2,1	1,3	NS
Autres Pathologie	32,1	25,4	32,4	25,7	35,7	28,1	44,2	46,7	*
Toutes Pathologies	46,5	42,6	46,9	51,0	53,2	58,4	63,1	64,0	***
n	678	699	580	449	291	178	95	75	

* $P < 0,05$

*** $P < 0,001$

(cf. signification des codes de pathologie au tableau 1)

TABLEAU 9

Fréquences des pathologies majeures au cours des quatre périodes d'observations de 12 mois (en p.100) entre juillet 78 et juin 82

	78-79	79-80	80-81	81-82	
APP	3,37	3,74	3,00	1,69	*
AVO	1,80	2,16	1,63	1,79	NS
BOI	6,38	9,15	9,82	5,38	***
DIG	1,56	3,24	3,36	1,39	**
KCJ	6,26	7,87	6,64	5,09	NS
MAM	13,85	21,26	18,47	15,47	***
MET	8,07	12,40	11,10	7,88	***
NDL	8,79	10,23	9,82	8,88	NS
PAN	3,01	5,80	4,64	2,89	**
PED	1,44	1,96	3,54	1,99	*
PIS	1,92	4,13	2,73	1,99	*
TUM	3,37	3,05	3,82	2,69	NS
VEL	2,17	3,93	4,91	3,59	*
VIT	2,16	4,72	5,00	4,49	*
VMN	2,53	2,26	4,91	2,58	**
TOTAL	66,7	95,9	93,5	67,8	

* $P < 0,05$
** $P < 0,01$
*** $P < 0,005$
(cf. signification des codes de pathologie au tableau 1)

TABLEAU 10

Fréquence relative des mammites cliniques rapporté au nombre total de cas observés, dans chacune des périodes (en p.100)

Mois / Période	J.A.S.	O.N.D.	J.F.M.	A.M.J.
T_1 (78-79)	10,4	21,7	40,0	26,1
T_2 (79-80)	17,6	25,0	34,2	23,1
T_3 (80-81)	11,3	40,3	34,9	13,3
T_4 (81-82)	23,2	34,8	25,1	16,8

TABLEAU 11

Fréquence mensuelle des vêlages selon les résultats du contrôle laitier 1979 et les données de l'EEPC (toutes laitières) (en p.100)

	O	N	D	J	F	M	TOTAL
Contrôle Laitier 79	10,9	10,4	10,6	10,8	10,5	10,1	63,3 %
E E P C	14,1	11,1	9,7	10,7	8,4	7,2	61,2 %

TABLEAU 12

Fréquence mensuelle des vêlages selon les résultats du contrôle laitiere 1979 pour la race montbéliarde et les données de l'EEPC concernant la Haute-Marne (en p.100)

	O	N	D	J	F	M	Total
Contrôle laitier 79 Montbéliarde	8,6	9,9	9,5	9,9	12,6	14,1	64,6%
E E P C Haute-Marne	10,5	9,0	8,5	8,1	16,3	11,2	63,6 %

DOHOO *et al.* (1984) observent une variation saisonnière des *avortements* avec 2 pics, l'un en janvier, l'autre en juin, résultats que nous ne confirmons pas, le pic d'été que nous observons étant lié au pic de vêlage d'octobre.

La plupart des auteurs confirment la plus grande incidence des *mammites* en période de stabulation (EKESBO, 1966 ; ERB et MARTIN, 1978 ; KING, 1972 ; CARROLL, 1977 ; GROZA 1980, BAKKEN, 1981). Cet aspect est en rapport :

- d'une part, avec le risque « litière » souligné par de nombreux auteurs (KING, 1972 ; KORAC, 1974 ; HINRICHSEN *et al.*, 1978 ; JACKSON, 1981 ; BROCHART *et al.*, 1984) ;

- d'autre part, avec le risque « vêlage » puisque un tiers des cas de mammites cliniques dans notre échantillon sont répertoriés au cours du premier mois de lactation et que 61,2 p.100 des vêlages ont lieu pendant la période de stabulation.

Cependant, plusieurs auteurs soulignent l'augmentation de l'incidence des mammites pendant la période estivale (KING, 1972 ; COLLIER *et al.*, 1982 ; SIMESEN, 1974 ; GROOTENHUIS, 1979), résultats confirmés par DOHOO *et al.* (1984) et par nos propres résultats. Cette augmentation des fréquences de mammites d'été serait lié au « stress thermique » (COLLIER *et al.*, 1982) et à la pullulation des insectes, en particulier de la mouche *Hydrotaea irritans* (TOLLE, 1984).

DENTINE et Mc DANIEL (1983) ne trouvent pas de variations saisonnières significatives de la fréquence des *œdèmes mammaires*. D'après CONWAY *et al.* (1977), les vêlages d'automne sont plus souvent suivis d'œdèmes que les vêlages d'hiver, ce qui n'est pas confirmé par MALVEN *et al.* (1983) chez les primipares. Nos résultats semblent indiquer une augmentation de l'incidence des œdèmes mammaires en hiver (décembre à février). Les *anomalies du pis* sont plus fréquemment observées en mars (DOHOO *et al.*, 1984) et l'incidence est en général plus élevée en période de stabulation (EKESBO, 1984). Dans notre échantillon, l'augmentation de la fréquence des problèmes de pis en février-mars est surtout due à l'importance des gerçures et des crevasses du trayon, anomalies observées plus particulièrement dans le département de la Haute-Marne où le froid hivernal favorise ce type de lésions.

L'incidence de la *pathologie podale* est plus élevée en hiver (ROWLANDS *et al.*, 1983 ; EDDY et SCOTT, 1980) ce que confirment nos résultats. Cet effet est à mettre en rapport avec la période de stabulation (EKESBO, 1966) et avec la fréquence élevée des vêlages en automne, puisque le maximum de cas répertoriés dans notre échantillon se situe au 3ème mois de lactation et en fin de période de stabulation. BROCHART et FAYET (1981) constatent un minimum de fréquence de boiteries au printemps, ce qui va également dans le sens de nos résultats.

La fréquence *des métrites* est plus élevée d'octobre à février selon MARTINEZ et THIBIER (1984), à la fin de l'hiver et au printemps selon ANDRIAMANGA *et al.* (1984), en automne selon ERB et MARTIN (1978), en hiver selon MARKUSFELD (1984). Pour DOHOO *et al.* (1984), il n'y a pas d'effet saisonnier. Dans notre échantillon, la saison hivernale semble être particulièrement favorable au développement des métrites. On sait l'influence du manque d'exercice et du microbisme d'étable sur l'involution utérine pendant la période hivernale (LANSIAUX, 1984).

Les troubles ovariens (KCJ) sont plus fréquents en hiver (ERB et MARTIN, 1978 ; DOHOO *et al.*, 1984), ce qui n'est pas confirmé par AL DAHASH et DAVID (1977), ni par ZIARI (1980), qui ne trouvent pas de saison plus propice à la formation des kystes ovariens, conformément à nos propres résultats.

DOHOO *et al.* (1984) ne trouvent pas d'effet saisonnier pour les *troubles digestifs,* mais plusieurs auteurs décrivent une augmentation du nombre de cas de déplacement de la caillette à la fin de l'hiver et au début du printemps (ERB et MARTIN, 1978 ; WALLACE, 1975). DOHOO *et al.* (1984) observent un maximum de risque d'acétonémie en janvier-février alors que ERB et MARTIN (1978) décrivent un pic saisonnier en mars-avril. Concernant cette pathologie, le peu de cas répertoriés sur 4 années d'enquête (11 cas) ne permet pas d'en faire une étude de la répartition temporelle. Mais, un grand nombre de cas de *pertes d'appétit* peut être assimilé à des cétoses subcliniques (FAYE *et al.*, 1985). Or les fréquences des pertes d'appétit sont plus élevées en période de stabulation, conformément aux résultats de EKESBO (1966).

En règle générale, concernant la répartition saisonnière des pathologies, la période de stabulation et en particulier les mois d'hiver (tabl. 2) paraissent être les plus favorables à l'augmentation des fréquences pathologiques, ce qui concorde avec les conclusions de ERB et MARTIN (1978) et d'EKESBO (1966). L'effet « hiver » est à mettre en rapport avec plusieurs facteurs :

- alimentaire : la période de stabulation est aussi celle des transitions alimentaires (préparation au vêlage en particulier) dont la maîtrise n'est pas toujours bien assurée ;

- micro-climatique et environnemental : l'hiver correspond à une période de confinement où l'animal est particulièrement soumis à la pression du milieu (microbisme d'étable, hygiène de la litière, limitation de l'exercice physique...) ;

- climatique : le froid humide est particulièrement néfaste à la santé des animaux (MELHORN *et al.*, 1981). Le froid intense conduit les vaches à augmenter leur temps de couchage dans la litière, ce qui augmente la température de celle-ci et facilite l'augmentation de la population des coliformes (FRANCIS *et al.*, 1980) ;

- physiologique : le péri-vêlage est une période de grande fragilité et la plupart des pathologies se manifestent au moment du part ou dans le mois lui succédant. Il n'est donc pas étonnant d'observer une augmentation des fréquences pathologiques au moment où la fréquence des vêlages est élevée.

Les divergences entre les auteurs dans les résultats obtenus sont sans doute liées à la nature différente des échantillons étudiés et des conditions de prises de données : différences raciales, climatiques, de conduites d'élevage et des périodes de vêlage, type de bâtiments, pathologies observées par les seuls praticiens ou conjointement par les praticiens et les éleveurs, etc...

3. Répartition par mois de lactation

Les données bibliographiques semblent moins nombreuses concernant la répartition par mois de lactation.

DOHOO *et al.* (1984) observent que 42,9 p.100 des premiers cas de mammites sont répertoriés au cours des trente premiers jours qui suivent le vêlage, chiffre supérieur à nos résultats du fait qu'ils ne prennent pas en compte les récidives éventuelles aux mois ultérieurs, ce qui minore les fréquences après le premier mois. Conformément à nos résultats, ces mêmes auteurs observent un maximum de cas dans les 7 premiers jours *post-partum* (71,4 p.100 des cas de mammites aigües du 1er mois).

La forte incidence des œdèmes mammaires au cours du premier mois de lactation est en accord avec les observations de DENTINE et Mc DANIEL (1983).

EDDY et SCOTT (1980) trouvent un maximum de cas de pathologies podales au cours des 3 premiers mois de lactation avec un léger pic au 3ème mois, ce qui concorde avec nos résultats. DOHOO *et al.* (1984) en revanche observent une décroissance régulière à partir du 30ème jour, mais ils ne considèrent également que le premier cas diagnostiqué. BROCHART et FAYET (1981) trouvent une fréquence élevée au cours du 1er mois (30 p.100) et du 4ème mois (16 p.100), mais notent de très grandes variations entre élevages quant aux délais de manifestation des boiteries après vêlage.

DOHOO *et al.* (1984) observent 62,7 p.100 des cas d'infections génitales au cours du 1er mois suivant le part, soit plus que dans notre échantillon (44 p.100 seulement).

Nos résultats concernant la répartition des fréquences de corps jaunes kystiques concordent avec ceux de DOHOO *et al.* (1984) et de ERB et WHITE (1981) pour lesquels un pic est observé vers le 120ème jour. Ce pic correspond à un examen plus approfondi des vaches non-fécondées au 3ème mois de lactation. Ces auteurs rapportent également un pic entre le 31ème et le 60ème jour, mais il s'agit dans le cadre de leurs études, d'une recherche systématique des corps jaunes kystiques et des kystes ovariens et non pas des cas observés dans les conditions générales de la pratique d'élevage.

DOHOO *et al.* (1984) observent enfin une décroissance rapide au cours de la lactation des cas d'acétonémie et surtout de déplacement de la caillette, ce qui va dans le même sens que nos résultats concernant les troubles de l'appétit et les problèmes digestifs.

Nous n'avons trouvé aucune référence concernant le modèle mathématique de décroissance des différentes fréquences pathologiques au cours de la lactation.

Nous pouvons attribuer cette décroissance à plusieurs facteurs :

- le vêlage qui constitue un ensemble de perturbations métaboliques et hormonales pouvant fragiliser l'animal ;

- la diminution de la production laitière qui assure un rétablissement de l'équilibre énergétique et azoté après le pic de lactation ;

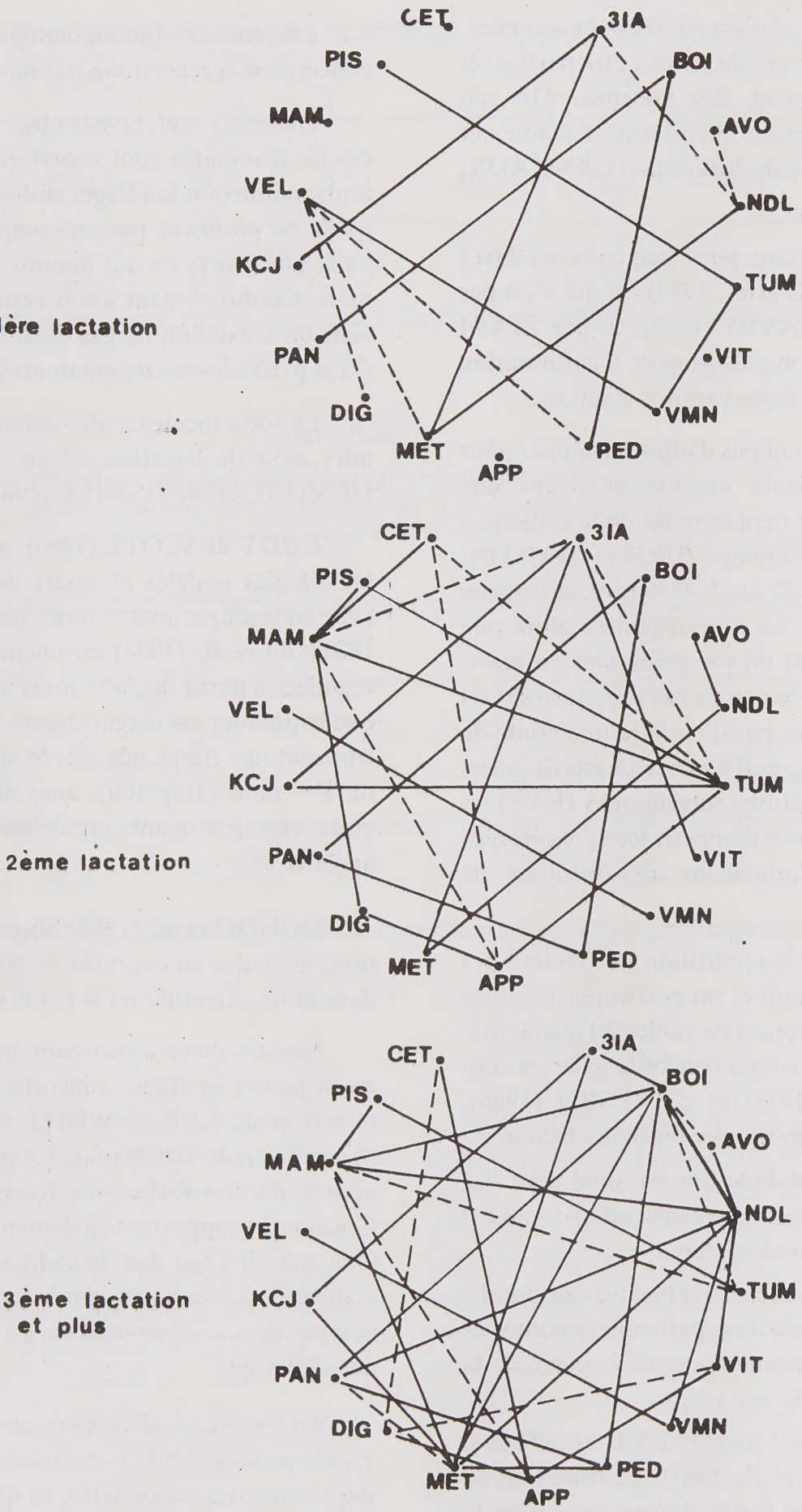


FIG. 23 : *Associations statistiques entre les pathologies majeures en élevage bovin laitier, obtenus par Khi2 sur des tables de contingence de deux, sur un échantillon de 590 vaches en première lactation, 759 en seconde lactation et 2413 en troisième lactation et plus.*

(d'après FAYE *et al.*, 1985b, en cours de publication aux Annales de Recherches vétérinaires). Dans les codes de pathologie sont ajoutés l'acétonémie (CET) et les animaux ayant nécessité au moins 3 inséminations artificielles (3IA)

——— $P < 0,01$

– – – $P < 0,05$

- la mise à la reproduction et la gestation qui représentent une phase physiologique de stabilité hormonale ;

- les conditions de l'environnement compte-tenu du fait que la plupart des vêlages ont lieu en hiver, saison défavorable à la santé globale des animaux.

4. Répartition par numéro de lactation

L'effet de l'âge est bien connu sur la fréquence des fièvres vitulaires (LARVOR *et al.*, 1961). Le vieillissement est associé au ralentissement du métabolisme osseux et à une diminution de l'absorption digestive. Les échanges calciques se ralentissent avec l'âge et les mises-bas successives. L'incidence de la parésie puerpérale augmente donc parallèlement avec l'âge. PAYNE (1983) pose même la question de savoir si les vaches susceptibles de faire des fièvres de lait ne sont pas d'une certaine façon prématurément vieillies.

L'effet de l'âge est également connu sur les dystocies et la mortinatalité des veaux, mais il est inverse : les fréquences diminuent avec le numéro de lactation (DOHOO *et al.*, 1984 ; THOMPSON, 1984 ; OLTENACU *et al.*, 1984 ; ERB et MARTIN, 1980).

Plusieurs auteurs décrivent une augmentation de la fréquence des non-délivrances avec l'âge (MULLER et OWENS, 1974 ; ERB et MARTIN, 1980 ; THOMPSON *et al.*, 1983). DOHOO *et al.* (1984) ne trouvent pas d'effet dû à l'âge, mais constatent moins de non-délivrances chez les vaches de moins de 3 lactations.

Selon ERB et MARTIN (1980), les vaches âgées sont plus sensibles aux infections génitales, alors que pour DEBROSSE (1973), les fréquences de métrites sont plus importantes chez les primipares et que pour MARKUSFELD (1984) les métrites *post-partum* diminuent progressivement avec l'âge. DOHOO *et al.* (1984) ne trouvent aucun effet de l'âge. Selon LANCIAUX (1984), ces résultats contradictoires sont dus au fait que l'involution utérine est plus rapide chez les primipares, alors que chez les pluripares, dont l'utérus a déjà été plusieurs fois en contact avec les bactéries, l'état immunitaire est supérieur.

ERB et MARTIN (1978) observent une diminution des risques de kystes ovariens avec l'âge. VARDEN (1978) note que c'est en 1ère et 3ème lactation que les kystes ovariens sont les plus fréquents. A l'inverse, DOHOO *et al.* (1984) constatent une augmentation linéaire de 1,6 p.100 par an des kystes ovariens. Enfin, ZIARI (1980) observe plus de corps jaunes kystiques chez les vaches jeunes, mais plus de kystes folliculaires chez les vaches âgées. Compte-tenu des difficultés de diagnostic sur l'animal vivant, les résultats apparemment contradictoires semblent plutôt liés à la méthode de dépistage (recherche systématique, comptage d'abattoir) et à la normalisation délicate des critères de définitions.

La fréquence des mammites cliniques et subcliniques augmente avec l'âge, d'après les observations de DANIEL *et al.* (1966) et de SCHULTZ (1977). ERB et MARTIN (1978) trouvent un maximum chez les vaches très âgées et les vaches jeunes. DOHOO *et al.* (1984) décrivent une augmentation linéaire des fréquences de mammites cliniques nécessitant une thérapeutique locale et une évolution de type quadratique pour la fréquence des mammites systémiques, avec un maximum à 14 ans.

D'après ces mêmes auteurs, les problèmes de pis ont tendance à augmenter avec l'âge, mais diminuent à partir de la 5ème ou 6ème lactation, ce qui va dans le sens de nos résultats. L'œdème mammaire est plus fréquent chez les primipares selon DENTINE et Mc DANIEL (1983). MALVEN *et al.* (1983) observent une augmentation de la fréquence des œdèmes mammaires avec l'âge au vêlage des primipares. La variation des fréquences d'œdème mammaire dans notre échantillon n'est pas significative, mais semble indiquer une augmentation des fréquences chez les vaches à plus de 6 lactations.

Les pathologies podales augmentent avec l'âge des animaux, selon un modèle de croissance linéaire de l'ordre de 0,6 p.100 par an (DOHOO *et al.*, 1984), résultats en accord avec ceux d'EDDY et SCOTT (1980). Les perturbations du métabolisme osseux avec l'âge semblent constituer un facteur prédisposant aux boiteries chez les animaux âgés (PAYNE, 1983).

Nous n'avons pas de données concernant les pertes d'appétit, mais DOHOO *et al.* (1984) observent une relation quadratique entre l'âge des vaches et la fréquence des cétoses subcliniques avec un maximum à la 6ème lactation.

Enfin, contrairement aux observations de ERB et MARTIN (1978) qui rapportent un maximum de risques de déplacement de la caillette entre 4 et 7 ans, DOHOO *et al.* (1984) ne trouvent pas de relation significative entre l'âge et cette pathologie, pas plus d'ailleurs qu'avec les troubles digestifs.

Si, parfois, nos résultats ne confirment (ni n'infirment puisque l'évolution observée pour la plupart des pathologies est non-significative) les données de la bibliographie, ceci est dans doute lié au mode de calcul que nous avons choisi.

En effet, nous avons éliminé les lactations incomplètes, c'est-à-dire les lactations au cours desquelles les animaux ont été réformés. Or, les réformes liées à une pathologie sont les plus importantes : plus de 50 p.100 dans le Finistère selon FIDON (1982). Parmi les causes pathologiques de la réforme, les maladies de la reproduction et du vêlage représentent une part prépondérante (65 p.100 des cas de réforme pour pathologie), suivi par les mammites (12 p.100) et la pathologie podale (10 p.100), selon la même étude. Ceci minore donc les fréquences pathologiques, en particulier pour les pathologies de la reproduction et du part (MET, KCJ, NDL) chez les animaux âgés.

D'autre part, une étude réalisée sur le même échantillon (FAYE *et al.*, 1985b) a clairement montré que le nombre des associations pathologiques augmente avec le numéro de lactation pour toutes les pathologies (sauf pour VEL, VMN et TUM) (fig. 23). L'âge semble donc constituer globalement un facteur de risque.

5. Variation annuelle

Nous disposons de peu de références concernant la variation annuelle des pathologies majeures d'élevage. BADINAND et SENSENBRENNER (1984) observent des variations significatives de la fréquence des non-délivrances dans le département du Bas-Rhin entre 1979 et 1982. Les résultats de l'E.E.P.C. concernant les fréquences *par élevage* sur deux périodes (79-80 et 80-81) indiquent que la répétabilité est très élevée pour les mammites cliniques (BROCHART *et al.*, 1984b) et les boiteries, et faible pour les non-délivrances et la fécondité.

Les résultats présents ne tiennent pas compte de l'élevage, mais uniquement des individus et la variation annuelle que nous constatons pour la plupart des pathologies peut-être liée en partie à une dérive due à l'enquête même. Nous constatons, en effet, une augmentation quasi-généralisée des fréquences à partir de la deuxième période, indiquant une notation de plus en plus méticuleuse de la pathologie par les éleveurs. Nous constatons, par exemple, que les pathologies qui ne peuvent échapper à une prise en compte rigoureuse de l'éleveur (AVO-NDL) ou qui relèvent d'un diagnostic vétérinaire (KCJ) ou d'une sensibilisation particulière de l'éleveur (APP), présentent une évolution pluriannuelle relativement stationnaire. En revanche, certaines pathologies, parce que leur gravité peut être éminemment variable (MAM-MET-Pathologie podale) ne semblent pas être prises en compte avec la même précision d'une année sur l'autre.

De même, la diminution généralisée des fréquences pathologiques au cours de la dernière période peut être rattachée à deux phénomènes :

- à un relachement dans la qualité des notations pour une enquête qui « tire à sa fin » ;

- mais aussi à une meilleure prise en compte par les éleveurs de leur pathologie et de l'environnement de leur élevage, la plupart des exploitants suivis au cours de l'E.E.P.C., déclarant avoir « moins de pathologie parce que l'enquête leur avait appris à mieux observer leurs animaux ».

Cependant, cette « dérive » inévitable due à l'enquête proprement dite n'explique sans doute pas, à elle-seule, les variations importantes que nous observons. D'autres facteurs interviennent vraisemblablement. Le fait que les pathologies infectieuses (PAN-MAM-MET) augmentent toutes au cours de la seconde période incite à soupçonner des facteurs externes tels que les facteurs climatiques pour expliquer une part de cette « montée » infectieuse. L'augmentation significative de la pathologie digestive (DIG), métabolique (VIT-PED) et obstétricale (VEL, VMN) au cours de la 3ème période semble aussi suggérer l'intervention d'autres facteurs liés à des modifications dans les conduites d'élevage. Il nous sera possible de confirmer à l'avenir un certain nombre de ces hypothèses au fur et à mesure du dépouillement des résultats, mais sur un plan stratégique, elles impliquent de travailler en « élevage-année » ou en « vache-année », compte-tenu, pour un milieu climatique donné de l'évolution des facteurs de risque d'une année sur l'autre.

IV. Conclusions

Nous n'avons présenté ici qu'un descriptif des données de l'E.E.P.C., descriptif concernant la variation des fréquences pathologiques dans le temps. Ces fréquences varient considérablement en fonction de la saison, de l'année, de l'âge de l'animal et du mois de lactation.

Le printemps et l'été constituent une période favorable à l'augmentation de la fréquence relative des non-délivrances. Les fièvres vitulaires sont plus fréquentes en été ; mais il n'y a pas d'effet saisonnier sur les dystocies, les mortinatalités et les avortements. Les pathologies non liées au vêlage sont en général plus fréquentes en période de stabulation (mammites, œdème mammaire, anomalies du pis, pathologie podale, métrites et pathologie métabolique), mais il n'y a pas d'effet saisonnier significatif sur la pathologie ovarienne. Les fréquences pathologiques décroissent rapidement après le vêlage, soit selon une courbe de type asymptotique ou logarithmique (mammites, œdème, anomalies du pis, métrites, pathologie métabolique), soit selon une courbe de type linéaire (pathologie podale). L'évolution des fréquences pathologiques en fonction du numéro de lactation indique que l'âge constitue un facteur de risque bien marqué pour la fièvre vitulaire. Cet effet est moins évident pour les pathologies podales, métaboliques et mammaires, car minoré par le fait que les lactations incomplètes, en particulier celles au cours desquelles les animaux ont été réformés, n'ont pas été prises en compte. En revanche, les jeunes femelles sont plus prédisposées aux dystocies et aux mortinatalités. Les pathologies de la reproduction (métrites, non-délivrance, kystes ovariens) semblent être moins fréquentes chez les femelles âgées, mais la réforme élimine principalement les animaux présentant ces troubles. Enfin, la répartition annuelle indique une évolution constante des pathologies facilement définissables (avortement, non délivrance) et variable pour les pathologies demandant une plus grande rigueur dans l'observation clinique (mammites, métrites, pathologie podale).

Ces résultats ne valent bien entendu que pour l'échantillon défini par l'E.E.P.C. et les données souvent contradictoires de la littérature incitent à conserver une grande prudence quant à leur interprétation. Mais ceux-ci présentent un intérêt épidémiologique certain : la mise en évidence de facteurs de risque associés à la cause d'une maladie ne peut être effectuée qu'à l'aide d'une analyse dans le temps. Il s'agit en effet d'étudier l'évolution temporelle de la maladie et en parallèle d'étudier l'évolution du facteur présumé de risque. Une concordance constatée à ce niveau peut donner des arguments solides sur la vraisemblance ou le peu de vraisemblance d'une association causale (BARNOUIN *et al.*, 1984). L'évolution temporelle des fréquences pathologiques n'est en effet que le *reflet* de la variation temporelle des facteurs de risques.

Références bibliographiques

AL DAHASH S.Y.A., DAVID J.S.E., 1977. Anatomical features of cysticovaries in cattle found during an abattoir survey. *Vet. Rec.*, **101,** 320-324.

ANDRIAMANGA S., STEFFAN J., THIBIER M., 1984. Metritis in dairy herds : an epidemiological approach with special reference to ovarian cyclicity. *Ann. Rech. vet.*, **15** (4) 503-508.

ARTHUR G.H., 1979. Retention of the afterbirth in cattle : a review and commentary. *Vet. Annu.*, **19,** 26-36.

AURAN T., 1972. Factors affecting the frequency of stillbirths in Norwegian Cattle. *Acta Agric. scand.*, **22,** 178-182.

BADINAND F., SENSENBRENNER A., 1984. Non-délivrance chez la vache. Données nouvelles à propos d'une enquête épidémiologique. *Point vét.*, **16** (84), 13-26.

BAKKEN G., 1981. A survey of environment and management in Norwegian Dairy herds, with reference to udder diseases. *Acta Agric. scand.*, **31,** 50-69.

BARNOUIN J., 1980. Enquête éco-pathologique continue en élevages-observatoires chez les ruminants : objectifs et stratégies. *An.. Rech. vét.*, **11,** 341-350.

BARNOUIN J., PACCARD P., FAYET J.C., BROCHART M., 1984. L'enquête éco-pathologique continue : 3. Mise en évidence de facteurs de risque de l'infertilité en élevage bovin laitier. *Bull. tech. CRZV Theix, INRA,* **(56),** 51-57.

BROCHART M., FAYET J.C., 1981. Milieu et pathologie podale des vaches laitières. In « *Milieu, pathologie et prévention chez les ruminants* ». INRA Publ., 39-44.

BROCHART M., BARNOUIN J., CHASSAGNE M., FAYE B., FAYET J.C., 1984a. Vaches laitières : contribution des enquêtes éco-pathologiques à l'établissement des programmes sanitaires d'élevage. In « *Les entretiens de Bourgelat* », Tome IV. 43-75.

BROCHART M., BARNOUIN J., FAYET J.C., 1984b. Les mammites dans l'enquête éco-pathologique continue en élevages observatoires. *Bull. GTV,* **5,** 7-23.

CAROLL E.J., 1977. Environmental factors in bovine mastitis. *J. am. vet. med. Assoc.,* 170 (10), 1143-1148.

COLLIER R. JH., BEEDE D.K., THATCHER W.W., ISRAEL L.A., WILCOX C.J., 1982a. Influences of environment and its modification on dairy animal health and production. *J. Dairy Sci.,* **65,** 2213-2227.

COLLIER R.J., DOELGER S.G., HEAD H.H., THATCHER W.W., WILCOX C.J., 1982b. Effects of heat stress during pregnancy on maternal hormone concentrations, calf birth weight and *postpartum* milk yield in Holstein cows. *J. anim. Sci.,* **54,** 309-315.

CONWAY J.F., OLSON H.H., Mc COY., 1977. Effects of sodium chloride supplementation on the incidence and severity of mammary edema and on serum sodium levels in pre-parturient cows and heifers. *J. Dairy Sci.,* **60** (suppl. 1) **110** (Abstr.).

DANIEL R.C., BARNUM D.A., RENNIE J.C., 1966. Variation in modified California mastitis test scores in dairy cattle. *J. Dairy Sci.,* **49** (10) 1126-1229.

DEBROSSE M., 1973. Les métrites dans les grandes Unités laitières. *Bull. Soc. Med. Vet. Prat.,* **57,** 329-330.

DENTINE M.R., Mc DANIEL B.T., 1983. Variation of Edema Scores from Herd Year, Age, Calving Month and Score. *J. Dairy Sci.,* **66,** 2391-2399.

DOHOO I., MARTIN S.W., Mc MILLAN I., KENNEDY B.W., 1984. Disease, production and culling in Holstein-Friesan cows. II. Age, season and sire effects. *Prev. Vet. Med.,* **2,** 655-670.

DUBOIS P.R., WILLIAMS D.J., 1980. Increased incidence of retained placenta associated with heat stress in dairy cows. *Theriogenology,* **13** (2), 115-121.

EDDY R.G., SCOTT C.P., 1980. Some observations on the incidence of lameness in dairy cattle in Somerset. *Vet. Rec.,* **106,** 140-144.

EKESBO I., 1966. Disease incidence in tied and loose housed dairy cattle. *Acta Agric. scand.,* **15,** 1-74.

ERB H.N., MARTIN S.W., 1978. Age, breed and seasonal patterns in the occurence of ten dairy cow diseases. A case control study. *Can. J. Comp. Med.,* **42,** 1-9.

ERB H.N., MARTIN S.W., 1980. Interrelationships between production and reproductive diseases in Holstein cows. Age and seasonal patterns. *J. Dairy Sci.,* **63,** 1918-1924.

ERB H.N., WHITE M.E., 1981. Incidence rates of cystic follicles in Holstein cows according to 15 days and 30 days intervals. *Cornell Vet.,* **71,** 326-331.

FAYE B., FAYET J.C., BROCHART M., BARNOUIN J., PACCARD P., 1985a. Enquête éco-pathologique continue. 4. Mise en évidence des associations pathologiques en élevage bovin laitier. Données d'élevage. *Ann. Rech. vét.* (en cours de publication).

FAYE B., FAYET J.C., BROCHART M., BARNOUIN J., PACCARD P., 1985b. Enquête éco-pathologique continue. 5. Mise en évidence des associations pathologiques en élevage bovin laitier. Données individuelles. *Ann. Rech. vét.* (en cours de publication).

FIDON P.M., 1982. *La réforme de la vache laitière. Ses principales causes d'ordre pathologique et leur prévention.* Thèse Doct. Vét. Créteil.

FRANCIS P.G., SUMMER J., JOYCE D.A., 1980. The influence of the winter environment of the dairy cow on mastitis. *11th Int. Cong. on diseases of cattle.* Tel Aviv, oct. 1980. Israël Association for Buiatries. 35-43.

FRANCIS P.G., 1984. Teat skin lesions and mastitis. *Br. vet. J.,* **140,** (5) 430-436.

GROOTENHUIS G., 1979. On outbreak of klebsiella pneumoniae mastitis. *Tijdschr. Diergeneesk.,* **104** (22), 888-889.

GROZA P., 1980. Housing for dairy cows. Cluj. Nopoca. Romania. 63-68.

HINRICHSEN J.K., BAHRINI S., SOLCH A., BUCHENALER D., 1978. The effect of housing system, breed and feeding on milk yields of cattle. *World Rev. anim. Prod.,* **14** (3). 59-63.

JACKSON G., 1981. Environment and mastitis of periparturient cows a study of 90 dairy herds. *Proc. of IVth int. Symp. on mastitis control.* Ed. Wisniouwski, II, 515-524.

KING J.O., 1972. Mastitis as a production disease. *Vet. Rec.,* **91** (14), 325-330.

KORAC V., 1974. Relationship between cowshed floor and udder temperatures, as a factor predisposing to mastitis. *Veterinaria,* **23** (2) 225-230.

LANSIAUX R.J., 1984. *Les endométrites subaigües du* postpartum *chez la vache. Rôle de la prévention dans le contrôle de la fertilité du troupeau.* Thèse Doct. Vét. Toulouse nº 41.

LARVOR P., BROCHART M., THERET M., 1961. Enquête sur la fièvre vitulaire et la tétanie d'herbage des bovins en France. In « *Economie et Médecine animales* », **2** (1) 5-30.

LEECH F.B., DAVIS M.E., MACRAE W.D., WITHERS F.W., 1960. Disease wastage and husbandry in the British dairy herd. Report of the National Survey in 1958-59. London, HM 50.

MALVEN P.V., ERB R.E., FRANCES D'AMICO M., STEWART T.S., CHEW B.P., 1983. Factors associated with Edema of the mammary gland in primigravid dairy heifers. *J. Dairy Sci.,* **66,** 246-252.

MARKUSFELD O., 1984. Factors responsible for post-parturient metritis in dairy cattle. *Vet. Rec.,* **114,** 539-542.

MARTINEZ J., THIBIER M., 1984. Reproductive disorders in dairy cattle. I. Respective influence of herds, seasons, milk yield and parity. *Theriogenology,* **21** (4) 569-590.

MEIJERING A., 1984. Dystocia and stillbirth in cattle. A review of causes, relations and implications. *Livest. Prod. Sci.,* **11,** 143-177.

MELHORN G., GERICWE A., BEER K., 1981. Effect of climatic components on udder health in cows. *Proc. of IVth int. Symp. on mastitis control.* Ed. Wisniouwski, Poland.

MULLER L.D., OWENS M.J., 1974. Factors associated with the incidence of retained placentas. *J. Dairy Sci.,* **57** (6), 725-728.

OLTENACU P.A., BRITT J.H., BRAUN R.K., MALLENBERGER R.W., 1984. Effect of health status on culling and reproductive performance of Holstein cows. *J. Dairy Sci.,* **67,** 1783-1792.

PACCARD P., 1981. Milieu et reproduction chez la femelle bovine. In : « *Milieu, pathologie et prévention chez les ruminants* », INRA Publ., 147-163.

PAYNE J.M., 1983. La fièvre de lait ou parésie puerpérale : In « *Les Maladies métaboliques des ruminants domestiques* ». Ed. du Point Vétérinaire. Maisons-Alfort, 41-58.

PHILIPSON J., 1976. Studies on calving difficulty, Stillbirth and Associated Factors in Swedish Cattle breeds. II - Effects of non-genetic factors. *Acta Agric. scand.,* **26,** 165-174.

ROINE J., SALONIEMI H., 1978. Incidence of some diseases in connection with parturition in dairy cows. *Acta vét. scand.,* **19,** 341-353.

ROWLANDS G.J., RUSSELL A.M., WILLIAMS L.A., 1983. Effects of season, herd size, management system and veterinary practice on the lameness incidence in dairy cattle. *Vet. Rec.,* **113,** 441-445.

SANDALS W.C.D., CURTIS R.A., COTE J.F., MARTIN S.W., 1979. The effect of retained placenta and metritis complex on reproductive performance in dairy cattle. A case control study. *Can. vet. J.*, **20,** 131-135.

SCHULTZ L.H., 1977. Somatic cell counting of milk in production testing programs as a mastitis control technique. *J. am. vet. med. Assoc.*, **170** (10) 1244-1246.

SIMESEN E., 1974. 1974. The relationship between weather and incidence of parturient paresis and mastitis in dairy cows. *Nord Vet. Med.*, **26** (6) 382-386.

THOMPSON J.R., POLLAK E.J., PELISSIER C.L., 1983. Interrelationships of parturition problems, production of subsequent lactation, reproduction and age first calving. *J. Dairy Sci.*, **66,** 1119-1127.

THOMPSON J.R., 1984. Genetic interrelationships of parturition problems and production. *J. Dairy Sci.*, **67,** 628-635.

TOLLE A., 1984. Mammite et médecine vétérinaire préventive. *Pro Veterinario*, **4,** 13-16.

VARDEN S.A., 1978. Cystic ovarian degeneration in cattle : treatment and conception rate in 234 cows. *Norsk Vet.*, **20** (11) 713-717.

WALLACE C.E., 1975. Left abomasal displacement. A retrospective study of 315 cases. *Bov. Pract.*, 50-58.

WITHERS F.W., 1957. Wastage and disease incidence on dairy herds. *Vet. Rec.*, **69,** 446-453.

ZIARI M., 1980. *Les kystes ovariens chez la vache. Etude descriptive et étiologique.* Thèse 3ème cycle. nº 639. Clermont-Ferrand.

Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A. 1985 (60) 83-97

Revue des facteurs *ante et post mortem* influençant la flaveur de la viande et celle des produits carnés (1)

I. C. TOURAILLE, J.P. GIRARD
II. J.P. GIRARD, C. TOURAILLE
Station de Recherches sur la Viande

Introduction

Sous le terme ancien de flaveur, il est d'usage de regrouper les perceptions olfactives et gustatives, c'est-à-dire le goût et l'odeur perçus au cours de la consommation. Dans un raccourci du langage courant, la flaveur est assimilée au goût.

Parmi les caractéristiques sensorielles, la flaveur joue un rôle primordial, car elle conditionne en grande part l'acceptabilité de l'aliment.

L'étude de la flaveur n'est pas une tâche simple, en raison de la variété des stimuli mis en œuvre ; l'approche sensorielle permet seulement, soit de détecter la présence de mauvais goût, soit de classer l'intensité de la flaveur. La perception de cette qualité est subordonnée au mode de cuisson, mais également à d'autres critères de qualité, ainsi la tendreté de la viande, lorsqu'elle varie dans de très larges proportions, rend difficile l'appréciation de la flaveur.

De plus, la perception des odeurs est soumise à des variations individuelles importantes. C'est ainsi que certaines personnes percevront des odeurs auxquelles d'autres resteront insensibles.

La flaveur de la viande résulte des technologies mises en œuvre au cours de sa préparation ; en effet, elle a pour support de nombreux composés chimiques formés, soit à partir des précurseurs, composants du muscle, soit à partir de leurs produits de dégradation. Les réactions mises en jeu et les composés formés ont été inventoriés par de nombreux auteurs (HERZ et CHANG, 1970 ; ROZIER, 1970 ; DAHL, 1970 ; SINK, 1973 ; SCHUTTE, 1974 ; PATTERSON, 1974 ; DWIVEDI, 1975 ; ROSSET *et al.*, 1977 et 1978), dans des articles à caractère synthétique.

Mais la flaveur résulte également et surtout de la qualité de la matière première viande. C'est cet aspect qui va retenir notre attention à deux niveaux, *ante* et *post mortem* c'est-à-dire avant et après l'abattage de l'animal.

La flaveur des produits carnés résulte des technologies appliquées et principalement du saumurage, du fumage, de la fermentation et de la cuisson mais également de la qualité des tissus animaux, viande en particulier.

Relativement à la qualité de la matière première, le consommateur se plaint d'une dégradation. Certaines viandes semblent plus spécialement concernées par cette critique, nous faisons allusion aux viandes de poulet et de veau.

Notre but va être de rechercher aux deux niveaux cités, *ante* et *post mortem,* quels sont les facteurs plus particulièrement incriminables, à la vue des résultats obtenus principalement dans nos 2 laboratoires respectifs de la Station de Recherches sur la Viande.

I. Les facteurs *ante mortem* influençant la flaveur de la viande

Dans la chronologie des facteurs à considérer, le premier à prendre à compte est celui relatif à l'espèce animale.

(1) un article similaire de J.P. GIRARD, C. TOURAILLE intitulé « A la recherche du goût perdu » est publié simultanément dans la *Revue Filière Viande.*

1. Espèce

L'identification sur la base de sa flaveur d'une viande rouge de bœuf ou de mouton s'effectue sans difficulté ; à l'inverse cette opération est beaucoup moins aisée lorsqu'elle concerne des viandes blanches provenant de veau, de porc ou de volaille (tabl. 1). C'est ainsi qu'une étude menée par SAUVAGEOT a montré que l'identification de viandes de poulet, pintade, dinde, canard, porc, veau, présentées à des consommateurs ne s'opérait que dans 30 à 40 p.100 des cas. Les raisons qui sont à la base de ces confusions tiennent selon nous, en grande partie au fait que ces viandes sont maigres, c'est-à-dire constituées par des quantités de lipides intramusculaires faibles (tabl. 2), et que dans ces conditions les distinctions de flaveur ne peuvent s'opérer. Une valeur seuil de ce paramètre dans la composition de la viande est nécessaire pour que se développe la flaveur spécifique d'espèce. L'analyse que nous proposons est confortée par les résultats des travaux effectués au Centre de Recherches de Langford en Angleterre, ils montrent que la fréquence de reconnaissance d'une viande provenant d'une espèce augmente lorsque du gras de même origine est ajouté au maigre. Nous en concluons que les lipides de dépôt ou lipides neutres, représentant une fraction variable du gras intramusculaire, jouent un rôle primordial dans le déterminisme de la flaveur. C'est ainsi que nous avons montré pour notre part, que lorsqu'on ajoute du gras de porc en proportion importante à du maigre de bœuf peu riche en lipide, il pouvait en résulter selon les jugements mêmes des dégustateurs une odeur de produit charcutier, c'est-à-dire de produits carnés d'espèce porcine.

TABLEAU 1

Fréquence de reconnaissance des viandes provenant d'animaux d'espèces différentes ; les chiffres encadrés correspondent aux réponses exactes
d'après SAUVAGEOT F., *Sci. Aliments,* 1984, hors série III (19-25)

	viandes présentées	porc	veau
réponse %	porc	[38]	31
	veau	37	[33]
	viandes de volaille	24	34

Outre cet aspect quantitatif, les lipides jouent un rôle par la nature de leurs constituants. Certains auteurs ont constaté que parmi les lipides de dépôt, des différences marquées s'opèrent au niveau des quantités et de la nature des acides gras libres présents dans les graisses des différentes espèces. Ces composés, comme nous le verrons dans la suite de notre article, revêtent une importance capitale sur la flaveur de la viande, en raison de leur grande aptitude à l'oxydation ; les composés résultant de cette réaction sont des agents majeurs dans le déterminisme de cette qualité. Pour notre part, nous n'avons pas constaté de différences quantitatives aussi marquées dans la teneur en acides gras libres des viandes de différentes espèces en raison de l'action possible d'autres facteurs, sexe, âge, stress, temps de maturation, etc... Au niveau des acides gras constitutifs (tabl. 3) de ces lipides de dépôt du gras intramusculaire, il convient de mentionner que chez les ruminants ces acides sont relativement saturés, plus chez le bœuf que chez l'agneau, tandis que pour les porcins et les volailles l'insaturation augmente, ce qui rend ces lipides plus oxydables, et donc les viandes dont ils proviennent moins conservables. Enfin la quantité de phospholipides ou lipides polaires rapportée au poids du muscle est une donnée relativement constante, elle est généralement comprise entre 0,5 et 0,7 g pour 100 g de viande. La grande variable est constituée par les lipides neutres.

Dans l'exposé ci-après des autres facteurs, la présentation de leurs effets sera faite, en les rapportant à chaque espèce.

2. La race

L'incidence de ce facteur sur la flaveur de la viande est controversée.

Chez les bovins plusieurs études menées en Angleterre et aux Etats-Unis sur des animaux appartenant à des races spécifiques de ces pays n'ont pas révélé d'effet marqué de ce facteur. Pour notre part, nous avons effectué des études analogues sur des races à viande et laitières. La comparaison d'animaux Limousin et Normand (tabl. 4) abattus à 24 mois, nous a montré des différences importantes de tendreté mais aucune relative à la flaveur. La deuxième partie de cette conclusion s'est trouvée confirmée à partir de travaux portant sur des animaux Charolais et Pie-Noires.

TABLEAU 2

Composition en lipides, lipides neutres, lipides polaires des viandes de différentes espèces
d'après GIRARD, résultats à publier

Espèces	Boeuf	Agneau	Porc	Veau	Dinde	Poulet	
Nature des muscles	1/2 membraneux	sous épineux sus épineux gros anconé sous capulaire	long dorsal	long dorsal	pectoral	pectoral	cuisse
Lipides totaux	2.6	6.7	2.4	1.3	2	1.1	3.6
Lipides neutres	2.2	6	1.9	0.7	1.44	0.44	2.6
Lipides polaires	0.4	0.5	0.43	0.6	0.5	0.66	1.0

TABLEAU 3

Composition en acides gras des lipides neutres des viandes de différentes espèces en pourcentage des acides gras totaux
d'après GIRARD J.P., résultats à publier

Espèces	Boeuf	Agneau	Porc	Poulet		Dinde
Nature des muscles	1/2 membraneux	sous épineux sus épineux gros anconé sous capulaire	long dorsal	cuisse	pectoral	pectoral
Acides gras						
Impairs	4.2	2.9	traces			traces
Ramifiés	1.7	0.41	0			
			INSATURATION →			
Insaturés totaux	48.3	57.3	60.4	55.1	62.7	62.9
			← CONSERVABILITE			
Monoénoïques	47.6	54.7	54.5			40.3
Diénoïques	0.6	2.6	6.3			22.7

TABLEAU 4

Caractéristiques organoleptiques de viandes provenant de différents muscles de bovins de races différentes

A la note 1 correspondent respectivement les qualificatifs dur, sec, faible flaveur
A la note 9 correspondent respectivement les qualificatifs tendre, juteux, forte flaveur

***P < 0,001 *P < 0,05 NS non significatif
(seuil de signification des différences pour les 2 muscles)

d'après TOURAILLE, 1982, *Bull. tech. CRZV Theix, INRA* (48) 83-89

Muscles	Long-Dorsal (faux-filet)		Gros Anconé (macreuse)		Seuil de Signification
Race	Normand	Limousin	Normand	Limousin	
Caractéristiques organoleptiques					
Tendreté	6.2	6.9	4.2	5.7	***
Jutosité	6.5	6.3	5.7	6.4	*
Flaveur	6.2	5.7	5.5	5.9	NS

Dans le cas de la viande de veau, notre étude a porté sur la comparaison d'animaux Limousin et Pie-Noire, il en ressort peu de distinguo d'une part dans la quantité et la nature des acides gras déposés dans les muscles et d'autre part dans la flaveur des viandes dégustées.

Chez le porc, la comparaison entre races françaises : Landrace français, Landrace belge et Piétrain dans une étude axée sur les relations entre qualités organoleptiques et sensibilité à l'halothane ne nous a pas révélé au niveau de la race de différences notables. Dans le cadre d'une autre étude, toujours relative à des races françaises, nous avons décelé de faibles différences entre viandes provenant d'une part d'animaux Landrace belge et d'autre part d'animaux Landrace français et Large White. Une constatation inverse a pu être faite dans une troisième étude comparative entre animaux mâles et femelles de race pure Piétrain et de croisés (demi) Piétrain × Chinois, 2 races chinoises étant représentées : Meishan et Jiaxing (tabl. 5). Contrairement aux résultats des 2 études précédentes, les différences constatées dans ce cas sont importantes. L'adiposité de ces derniers animaux est supérieure à celle des Piétrains de race pure ; sur cette base, il est possible de fournir un élément d'explication aux différences de flaveur constatées, toutefois aucune mesure de teneur en lipides du muscle n'ayant été effectuées, il est difficile de confirmer cette hypothèse. Nous terminerons cet inventaire en signalant que les viandes d'animaux appartenant aux races américaines, Duroc et Hampshire sont particulièrement prisées, sur les plans de la flaveur et de la jutosité, en raison justement de leur teneur en gras intramusculaire.

TABLEAU 5

Flaveur comparée de viandes de porc provenant d'animaux de 2 génotypes différents
Notes d'intensité de la flaveur
1 : intensité très faible, 9 : intensité très forte
d'après TOURAILLE C., MONIN G., LEGAULT C., 1983, *Journées Recherche Porcine en France*, 15, 215-218

Génotype	Piétrain		Piétrain x Chinois
Sexe			
Mâles	4.6	*	5.1
Femelles	4.4	***	5.3
Ensemble	4.5	***	5.2

3. Le sexe

Il semble que l'effet sexe, comme les effets espèces et race ne se traduise que très faiblement, sur la flaveur du maigre, *sensu stricto*, par contre des différences significatives se manifestent au niveau des gras. C'est au niveau de ces composés que se situe l'origine des odeurs sexuelles intenses et désagréables des viandes de verrat.

Une étude portant sur des bovins limousins abattus à 24 mois, n'a révélé que peu de différences entre viandes provenant d'animaux des 3 sexes. Sur les deux muscles testés, gros anconé et long dorsal, seul le premier a été jugé différent dans la comparaison mâles entiers, mâles castrés, tandis que dans celle portant sur mâles et femelles, aucun distinguo de flaveur n'a été noté (tabl. 6).

TABLEAU 6

Influence du sexe sur la flaveur de la viande de bovins Limousins abattus à l'âge de 24 mois (référence déjà citée tableau 4)
G.A. Gros Anconé (boule de macreuse)
L.D. Long Dorsal (faux-filet)

Muscles	G.A. (rôti)	G.A. (steak)	L.D. (rôti)
Intensité de la flaveur des viandes provenant de			
- mâle	5,1	5,2	5,9
- mâle castré	6,0	6,1	6,1
- femelle	5,6	5,7	5,8

Dans une étude sur la viande de poulet de souche X33 nous avons comparé des animaux mâles et femelles abattus à 9 et 14 semaines. A 9 semaines aucune différence significative n'est perceptible, par contre au stade de 14 semaines les différences entre animaux des deux sexes sont sensibles (tabl. 7), la flaveur des viandes mâles étant plus prononcée. Cette conclusion confirme la remarque introductive sur l'effet de ce facteur.

TABLEAU 7

Effets combinés du sexe et de l'âge sur la note de flaveur de viande de poulets X33 abattus respectivement à 9 et 14 semaines
d'après TOURAILLE, résultats à publier

Age de l'animal	9 semaines			14 semaines		
Sexe	mâle		femelle	mâle		femelle
Muscles étudiés :						
Cuisse	5,8	NS	5,36	6,17	*	5,45
Pectoral	3,87	NS	4,23	5,29	*	4,66
Ensemble	4,68	NS	4,80	5,73	**	5,06

Chez le porc de race Large White, la teneur en gras intramusculaire du long dorsal suit l'ordre décroissant : mâles castrés, mâles entiers, femelles. Le type sexuel a un effet plus marqué sur les acides gras du muscle que sur ceux de la bardière, c'est ainsi que les acides gras constitutifs des lipides neutres du long dorsal sont globalement plus insaturés dans le cas des femelles comparativement aux deux autres sexes, tandis qu'au niveau des phospholipides l'insaturation dans le cas des femelles et des mâles entiers dépasse largement celle des castrats (tabl. 8). L'effet du type sexuel sur l'acceptabilité des viandes consommées à l'état de côtelettes ou sous forme de rôtis est rapporté tableau 9. Les critiques majeures sur l'arôme jugé trop prononcé à désagréable des viandes mâles affectent à un degré moindre le goût. Les résultats de BONNEAU ont montré que les défauts d'odeur sexuelle sont surtout attribués aux viandes mâles dont la teneur en androstérone est supérieure à 0,5µg / g.

TABLEAU 8

Effet du sexe sur la composition en acides gras des lipides du long dorsal de porc de race Large White

d'après GIRARD J.P., DENOYER C., DESMOULIN B., GANDEMER G., 1983. *Rev. fr. Corps gras*, **30**, 73-79

	Sexe		
	Mâles entiers	Castrats	Femelles
Etat engraissement (1)	2.44_a	2.03_b	2.31_a
Adiposité (2)	27.75	31.67	29.68
Nombre d'animaux	17	17	19
Teneur en lipides (3)	2.03_{ab}	2.25_a	1.56_b
Teneur en lipides polaires (4)	1.73 ± 0.38	2.02 ± 0.40	1.33 ± 0.35
	0.40 ± 0.07	0.41 ± 0.06	0.43 ± 0.08
Lipides neutres — Nbre d'animaux	17	17	18
Composition en acides gras des lipides neutres — C14	2.25 ± 0.67	1.95 ± 0.39	2.17 ± 0.42
C16	24.21_a ± 0.68	24.01_a ± 1.10	23.35_b ± 0.88
C16 1 Δ	5.19_c ± 1.25	6.01_b ± 0.87	6.06_a ± 0.71
C18	12.19_{ab} ± 1.38	11.92_b ± 1.02	11.62_b ± 1,12
C18 1 Δ	49.74 ± 1.89	50.18 ± 1.52	49.86 ± 2.16
C18 2 Δ	6.37_a ± 1.39	5.84_b ± 1.21	6.92_a ± 1.55
Degré d'insaturation de la fraction lipides neutres	67.67_b	67.87_b	69.76_a
Lipides polaires — Nbre d'animaux	8	12	5
Composition en acides gras des lipides polaires du long dorsal — C14	0.65 ± 0.3	traces	0.62 ± 0.15
C16 R	traces	traces	traces
C16	23.88 ± 2.23	26.13 ± 3.61	25.74 ± 0.39
C16 1 Δ	3 ± 0.4	traces	traces
C18	8.69 ± 1.16	9.73 ± 1.76	7.34 ± 0.69
C18 1 Δ	18.58 ± 2.92	22.39 ± 4.9	16.0 ± 1.29
C18 2 Δ	34.49_b ± 1.59	30.86_c ± 5.29	37.40_a ± 1.40
C20	2.28 ± 0.9	1.12 ± 0.23	3.2 ± 1.0
C18 3 Δ	0.68 ± 0.12	traces	traces
C20	0.90_a ± 0.16	0.84_b ± 0.31	0.90_a ± 0.17
C20 4 Δ	8.91_b ± 1.04	6.09_c ± 2.25	10.42_a ± 1.37
Degré d'insaturation de la fraction lipides polaires (5)	128.24	108.47	132.48

Sur une même ligne, les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

1/ L'état d'engraissement a été calculé à partir du rapport Longe/Bardière

2/ L'adiposité a été calculée à partir du rapport $\frac{-816+1{,}69\text{bardière}+0{,}52\text{poitrine}+2{,}43\text{panne}}{\text{poids 1/2 carcasse sans tête}}$

3/ et 4/ Les teneurs en lipides ont été mesurées respectivement par la méthode de Bligh et Dyer et par la méthode réfractométrique d'Arneth.

5/ Le degré d'insaturation a été calculé à partir de la somme (% C16:1) + (% C18:1) + 2 (% C18:2), il s'apparente à un indice d'iode.

TABLEAU 9

Critiques majeures sur les viandes de porc consommées sous forme de rôtis ou de côtelettes - effet du sexe
d'après DESMOULIN B., GIRARD J.P., BONNEAU M., FROUIN A., 1983,
Journées Recherche Porcine, **15**, 177-192

Type sexuel	Mâles entiers	Mâles castrés	Femelles	Signification
Composantes de la flaveur				
Arôme trop prononcé	64 a	35 b	42 b	**
Goût désagréable	24 a	13 b	11 b	*
Nombre d'avis	87	96	96	

Dans le cas du jambon cuit, ce sont également ceux provenant des mâles entiers qui sont les plus sujets à critique. Une atténuation de ces différences s'opère au niveau des produits secs (tabl. 10).

TABLEAU 10

Préférence alimentaire pour différents produits charcutiers en fonction du sexe
d'après DESMOULIN B., GIRARD J.P., BONNEAU M. et FROUIN A., 1983, *Journées Recherche Porcine*, **15**, 177-192

Type sexuel	Mâles entiers	Mâles castrés	Femelles
Préférence alimentaire et nature du produit			
Jambon de Paris	20	27	33
Jambon sel sec	25	25	19
Saucisson	30	42	32

4. Effet de l'âge

Ce facteur est déterminant sur les qualités organoleptiques de la viande. Son effet est antagoniste sur deux des principales qualités, la tendreté et la flaveur. Alors que dans la plupart des cas la flaveur se développe avec l'âge de l'animal, la tendreté suit une évolution inverse. De nombreux facteurs, état d'engraissement, vitesse de croissance, etc... peuvent pondérer, masquer, voire même modifier la relation existante entre l'âge des animaux à l'abattage et la flaveur de la viande dont elle provient.

L'évolution de la flaveur de la viande avec l'âge de l'animal est associée avec celle de l'activité métabolique et corélativement avec celle de la composition du muscle. Elle s'opère jusqu'au moment où le métabolisme se stabilise. Elle est à relier peut-être avec une augmentation de la teneur en pigment, mais surtout à une élévation de la teneur en certains acides aminés (valine, méthionine, leucine, isoleucine) et à des modifications quantitatives (tabl. 11) et qualitatives des constituants lipidiques, acides gras libres en particulier, comme ont pu le constater VALIN *et al.* au niveau de l'espèce bovine (fig. 1).

TABLEAU 11

Evolution des lipides intramusculaires avec l'âge d'animaux Limousins pour les muscles de taurillon Longissimus dorsi *(LD) et* Tensor fasciae latae *(TFL)*
d'après VALIN C. et GOUTEFONGEA R., 1982
Bull. tech. CRZV Theix INRA (48) 30-34

Age	Muscles	Teneur en lipides du muscle en %
9 mois	LD	1,31 ± 0,32
	TFL	1,69 ± 0,43
13 mois	LD	1,30 ± 0,27
	TFL	1,53 ± 0,48
16 mois	LD	1,29 ± 0,17
	TFL	1,40 ± 0,20
19 mois	LD	1,73 ± 0,19
	TFL	1,70 ± 0,36
24 mois	LD	1,63 ± 0,30
	TFL	1,78 ± 0,67

Le jeune bovin conduit à une viande relativement fade comparativement à celles d'animaux adultes. Une étude portant sur des animaux limousins abattus entre 16 et 33 mois nous a montré que l'évolution la plus notable de la flaveur se produit autour de 18 mois, en deça, la viande d'animaux abattus à 16 mois manque de sapidité, au-delà l'évolution est limitée (tabl. 12). En prenant non plus comme variable directe l'âge de l'animal mais en considérant la teneur en gras du muscle long dorsal provenant respectivement de taurillons âgés de 15 à 17 mois et de vaches âgées de 4 à 7 ans, GOUTEFONGEA et VALIN ont montré qu'il existait une relation significative entre intensité de la flaveur et teneur en lipides (fig. 2). La préférence des dégustateurs sur le plan de la flaveur va aux viandes des animaux âgés, plus riches en lipides.

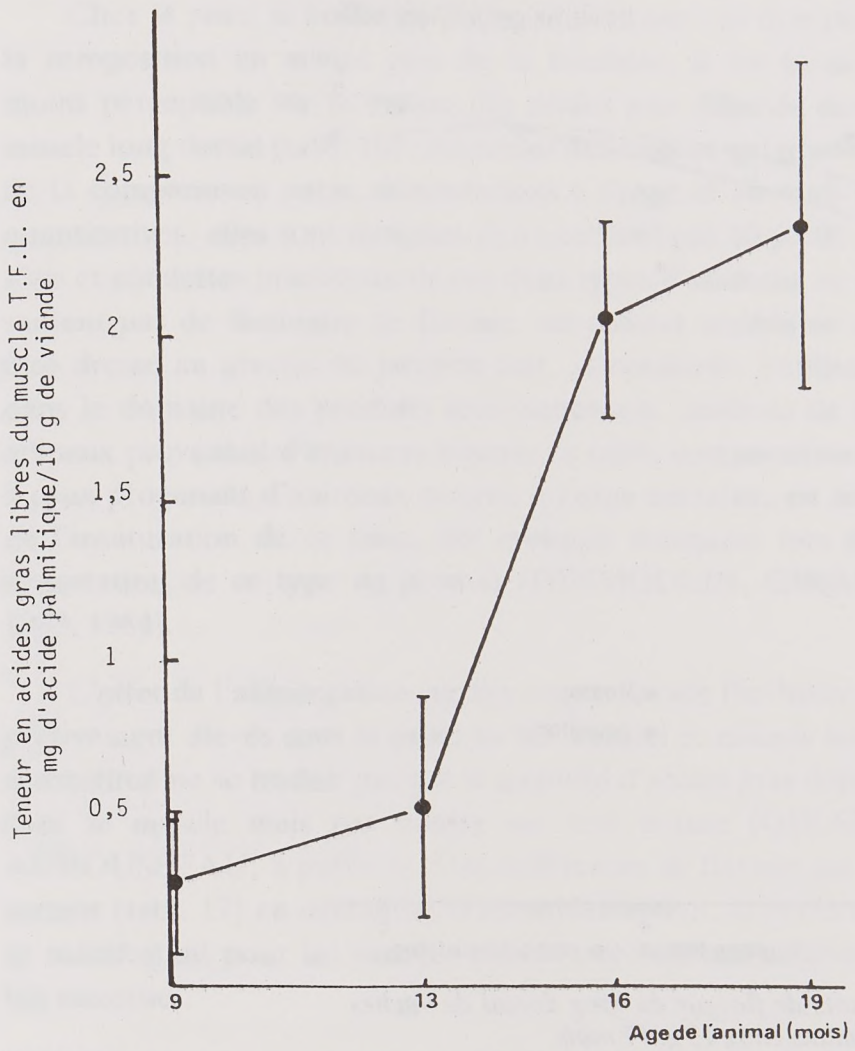


FIG. 1 : *Evolution de la teneur en acides gras libres du muscle* Tensor fasciae latae *de taurillons Limousins avec l'âge de l'animal* d'après VALIN et GOUTEFONGEA, 1982, *Bull. tech. CRZV Theix, INRA,* (**48**) 30-34

TABLEAU 12

Influence de l'âge d'abattage sur la flaveur des viandes d'animaux Limousins mâles.

Les notes d'intensité de flaveur s'échelonnent entre 1 (faible) et 9 (forte)

d'après TOURAILLE C. 1982, *Bull. tech. CRZV Theix, INRA,* (**48**) 27-46

Age en mois	16	24	26	29	33
Gros Anconé (rôti)	5.1	5.9	5.3	6.0	5.4
Gros Anconé (steak)	4.2	5.2	5.5	5.3	5.3
Long Dorsal (steak)	5.1	5.5	5.8	5.8	5.5

TABLEAU 13

Influence de la maturité sexuelle sur la flaveur de la viande de poulets mâles

Notes d'intensité de flaveur (1 très faible, 9 très forte)

d'après TOURAILLE C., RICARD F.H., 1981. 5th *European Symposium on Meat Quality Apeldorn,* 17-23 mai, 259-264

Précocité sexuelle	Animaux tardifs (petits testicules)	Animaux précoces (gros testicules)
Muscles étudiés		
Cuisse	2,91	3,07
Pectoral	2,56	2,62
Ensemble	2,73	2,85

TABLEAU 14

Effet du poids d'abattage sur la composition en acides gras des lipides du long dorsal de porcs de race Large White

d'après GIRARD J.P., DENOYER C., DESMOULIN B., GANDEMER G., 1983, *Rev. fr. Corps gras,* 30

		Poids d'abattage	
		Stade léger	Stade lourd
Etat engraissement (1)		2.33_a	2.14_b
Adiposité (2)		28.20	31.20
Nombre d'animaux		24	29
Teneur en lipides	(3)	1.91_b	1.98_{ab}
	(4)	1.56 ± 0.44	1.81 ± 0.49
Teneur en lipides polaires		0.42 ± 0.08	0.41 ± 0.07
Nbre d'animaux / Lipides neutres		24	28
Composition en acides gras des lipides neutres	C14	2.12 ± 0.50	2.13 ± 0.54
	C16	23.89_{ab} ± 1.12	23.77_{ab} ± 0.83
	C16 1 Δ	5.61_{bc} ± 1.09	5.89_b ± 0.97
	C18	12.48_a ± 1.18	11.41_b ± 0.96
	C18 1 Δ	49.93 ± 1.53	50.43 ± 1.97
	C18 2 Δ	6.47_a ± 1.09	6.32_{ab} ± 1.70
Degré d'insaturation de la fraction lipides neutres		68.48_b	68.96_{ab}
Nbre d'animaux / Lipides polaires		17	8
Composition en acides gras des lipides polaires du long dorsal	C14	0.78 ± 0.38	traces
	C16 R	traces	traces
	C16	25.16_b ± 2.49	25.75 ± 3.58
	C16 1 Δ	traces	traces
	C18	8.41 ± 1.23	9.93 ± 2.11
	C18 1 Δ	20.57 ± 5.13	18.43 ± 1.75
	C18 2 Δ	32.44_b ± 5.01	35.73_b ± 1.59
	C20	1.93 ± 1.12	1.7 ± 0.9
	C18 3 Δ	traces	traces
	C20	0.76 ± 0.28	0.93 ± 0.35
	C20 4 Δ	8.05_b ± 2.63	7.44_{bc} ± 2.06
Degré d'insaturation de la fraction lipides polaires (5)		117.67	119.65

Sur une même ligne, les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

La signification des renvois (1) (2) (3) (4) (5) est précisée Tableau 8.

Nous avons également procédé à l'étude de l'effet de l'âge sur la flaveur de la viande de poulets appartenant à la souche X33. De la comparaison entre animaux abattus respectivement à 8, 10, 12, 14 et 16 semaines, il ressort une évolution positive et nette de la flaveur jusqu'à 14 semaines. Cette évolution est plus marquée dans la tranche d'âge 12-14 semaines, âge de la maturité sexuelle, qu'en deça (fig. 3).

La comparaison entre poulets mâles, sélectionnés selon leur plus ou moins grande précocité sexuelle par détermination du poids des testicules, et abattus à l'âge de 12 semaines a permis de montrer que la précocité avait une incidence favorable sur la flaveur de la viande. Ainsi à 12 semaines, la préférence des dégustateurs s'adresse aux viandes provenant des animaux les plus précoces (tabl. 13).

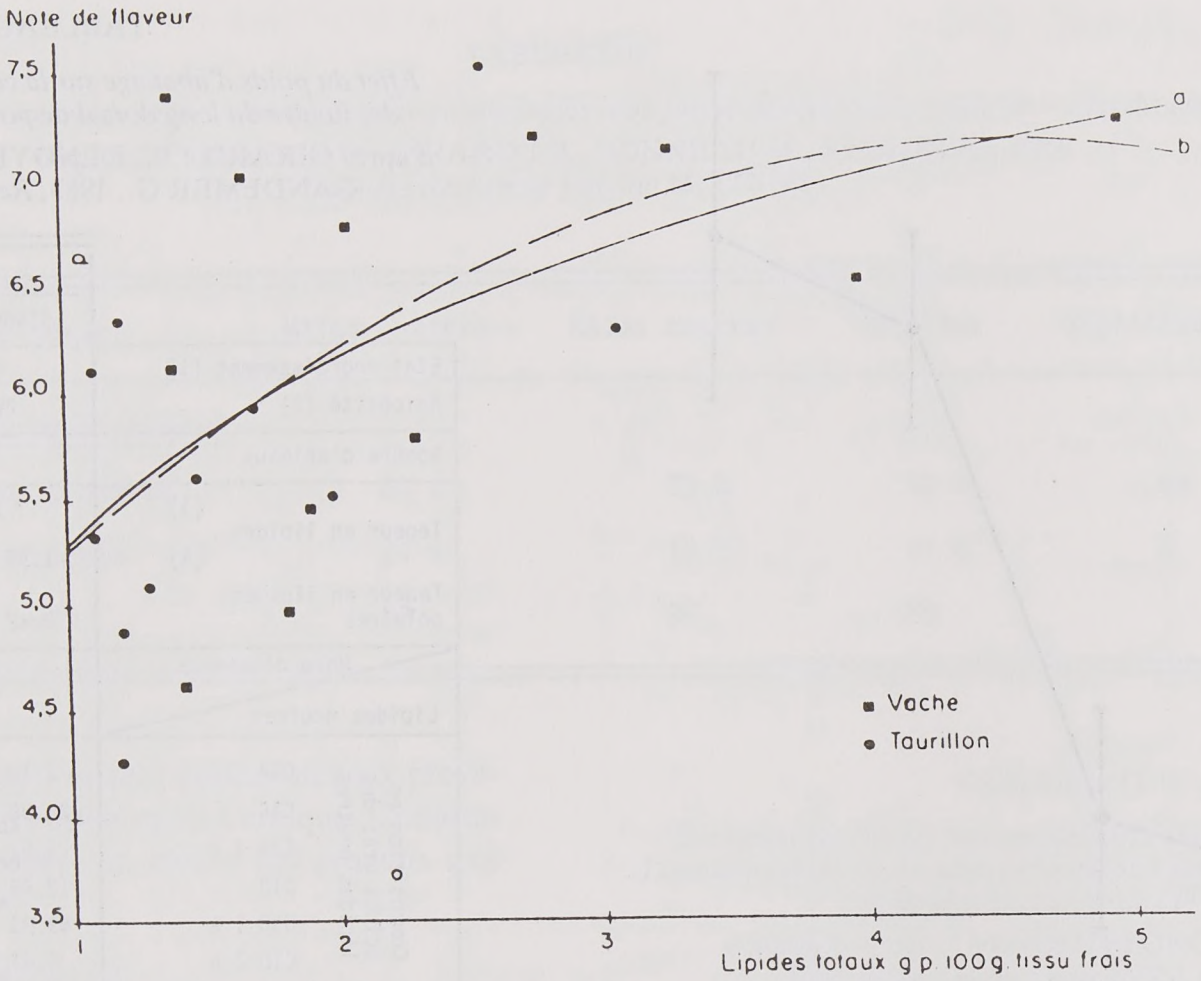


FIG. 2 : *Influence de la teneur en lipides sur la note de flaveur du long dorsal de vaches abattues entre 4 et 7 ans et de taurillons abattus entre 15 et 17 mois.*

d'après GOUTEFONGEA R. et VALIN C., 1978, *Ann. Technol. agric.*, **27**, 3, 609-627

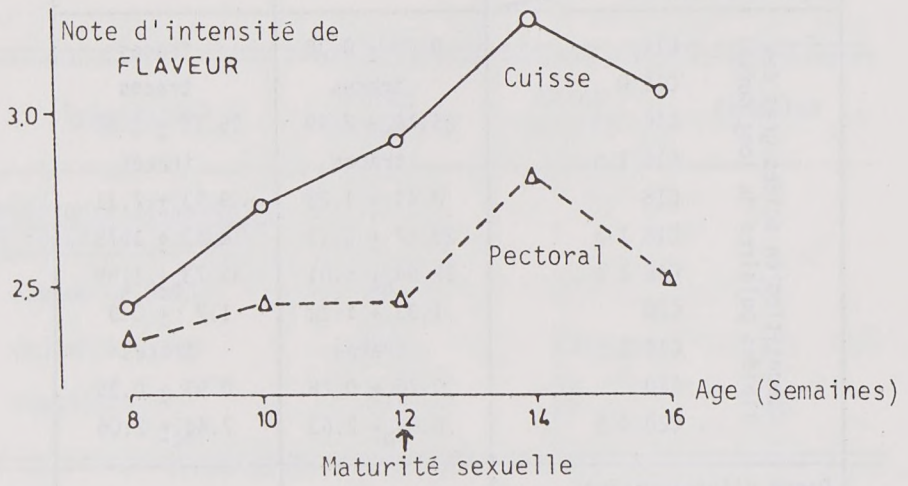


FIG.3 : *Influence de l'âge d'abattage sur la flaveur de la viande de poulet (animaux mâles souche X33)*

d'après TOURAILLE C., RICARD F.H., KOPP J., VALIN C., LECLERCQ B. 1981, *Arch. Geflugelk.* **(45)** 97-104

Chez le porc, l'augmentation du poids d'abattage au delà du poids vif classique de 100 kg, jusqu'au stade lourd de 120 kg, n'affecte que très faiblement les teneurs en lipides du muscle. Leurs degrés d'insaturation ne sont pas significativement différents, malgré les différences d'adiposité des carcasses à ces deux stades d'abattage (tabl. 14). Pour les utilisations en viande de boucherie, la préférence des dégustateurs va aux animaux les plus légers, un constat inverse a pu être dressé pour les utilisateurs en jambon cuit et sec (DESMOULIN, GIRARD, 1984).

5. Effet de l'alimentation

L'alimentation des animaux est un facteur essentiel de la qualité de la viande, en raison de ses répercussions sur la flaveur. La composition des graisses déposées est en particulier liée à la nature du régime alimentaire. Cet effet est plus marqué chez les monogastriques que chez les ruminants. En effet, les premiers vont transformer plus complètement les nutriments, tandis que les seconds vont déposer directement les acides gras de la ration. C'est ainsi que les viandes de porc et de poulet présentent assez fréquemment certains défauts en particulier des odeurs de poisson dont il faut rechercher la cause au niveau des lipides constitutifs de la ration alimentaire. On cite toutefois un certain nombre de cas de flaveurs anormales dues à l'alimentation chez les bovins, mais ces cas sont relativement rares.

Dans le cas de l'agneau Mérinos d'Arles nous avons comparé à deux stades d'abattage (25 et 32 kg) des animaux élevés sur parcours en garrigue à d'autres élevés en bergerie et nourris avec une ration à base de foin de luzerne. Les résultats révèlent des différences de flaveur pour les animaux abattus au stade le plus léger (tabl. 15) ; c'est ainsi que les viandes provenant des animaux élevés en garrigue présentent la flaveur la plus intense.

TABLEAU 15

Comparaison de viandes provenant d'agneaux Mérinos d'Arles élevés en garrigue et en bergerie, à 2 stades d'abattage ; les chiffres rapportés représentent le nombre de réponse indiquant une flaveur plus intense

d'après VIGNERON P., TOURAINE B., TOURAILLE C., PRUD'HOM M., 1984, *Bull. tech. Elev. ovin*, **4**, 29-33

Poids d'abattage	25 kg			32 kg	
Mode de conduite	garrigue		bergerie	garrigue	bergerie
Muscle					
Long Dorsal	42	*	22	24	30
Epaule	35		28	25	29
Ensemble	77	*	50	49	59

Chez le porc, si l'effet de l'alimentation est très marqué sur la composition en acides gras de la bardière, il est beaucoup moins perceptible sur la nature des acides gras déposés dans le muscle long dorsal (tabl. 16) ; les seules différences qui ressortent de la comparaison entre alimentations à l'orge et au maïs sont quantitatives, elles sont minimes et n'excèdent pas 10 p.100. Les rôtis et côtelettes provenant de ces deux types d'animaux ne présentent pas de distinguo de flaveur, un constat semblable a pu être dressé au niveau du jambon cuit. *A contrario,* l'utilisation dans le domaine des produits secs (saucisson, jambon) de tissu adipeux provenant d'animaux nourris au maïs, comparativement à ceux provenant d'animaux nourris à l'orge entraîne, en raison de l'insaturation de ce tissu, des critiques marquées lors de la dégustation de ce type de produit (DESMOULIN, GIRARD, 1983, 1984).

L'effet de l'alimentation sur des veaux de race Pie-Noire respectivement élevés sous la mère au lait naturel et nourris au lait reconstitué ne se traduit pas sur la quantité d'acides gras déposés dans le muscle mais par contre sur leur nature (GIRARD, AUROUSSEAU, à publier). Des différences de flaveur qui ressortent (tabl. 17) en découlent vraisemblablement, la préférence se manifestant pour les viandes provenant d'animaux élevés au lait maternel.

6. Effets des anabolisants et des substances médicamenteuses

L'influence des anabolisants sur la tendreté de la viande provenant d'animaux traités, comparativement à celle d'animaux non traités est très nette. L'implantation de ces substances se traduit de façon négative sur cette qualité. Plusieurs études comparatives sur des viandes de veau nous ont montré que ce facteur n'avait pratiquement pas d'incidence sur la flaveur, les effets constatés sont toujours faibles ou nuls. De même entre les viandes de bovins adultes traités et témoins aucune différence significative de flaveur n'a été notée que ce soit chez des animaux Normands ou Charolais.

Les antibiotiques administrés par injection ou par voie orale modifient la flore du rumen et de ce fait affectent la flaveur de la viande des ruminants. Le traitement par les anti-inflammatoires n'a pas d'effet direct sur la flaveur des viandes, mais par contre se traduit par l'augmentation du pouvoir de rétention d'eau et concerne plus de ce fait la jutosité.

7. La nature des muscles

Les muscles d'une carcasse présentent des différences importantes liées à leur rôle physiologique. Ces différences se répercutent sur la flaveur des viandes provenant de ces muscles. C'est ainsi que pour les bovins il est possible d'opposer le Psoas, muscle pâle et fade, au Diaphragme, plus coloré et plus riche en goût. Dans le cas du poulet cette opposition se retrouve de façon très marquée entre le muscle Pectoral, blanc et relativement fade, et les muscles de la cuisse, rouges et présentant une flaveur plus intense.

Là encore la variation de teneur en lipide peut être tenue en grande part pour responsable des différences de flaveur mentionnées. Dans le cas des muscles de bovins, nous pouvons constater que ceux présentant des caractères rouges prononcés sont les plus riches en lipides intramusculaires (fig. 4) ; il en va de même pour les muscles de poulet qui se répartissent suivant leur caractère rouge ou blanc en viande plus ou moins grasse (1,0 g / 100 g) dans la première éventualité (3,6 g / 100 g) dans la deuxième, selon nos résultats.

Nous avons pu montrer chez l'agneau également que le type métabolique des muscles induit des différences de flaveur des viandes dont elles proviennent. En effet, en comparant le même muscle classé selon son caractère rouge ou blanc suivant une méthode histochimique nous avons constaté une flaveur de plus en plus intense, au fur et à mesure que le caractère rouge s'affirme.

TABLEAU 16

Effet de l'alimentation sur la composition en acides gras des lipides du long dorsal de porcs de race Large White

d'après GIRARD J.P., DENOYER C., DESMOULIN B., GANDEMER G., 1983, *Rev. fr. Corps gras,* 30-2, 73-79

		Alimentation	
		Orge	Maïs
Etat engraissement (1)		2.41_{a}	2.15_{b}
Adiposité (2)		28.77	30.63
Nombre d'animaux		24	29
Teneur en lipides	(3)	1.76_{b}	2.08_{a}
	(4)	1.58 ± 0.42	1.80 ± 0.48
Teneur en lipides polaires		0.40 ± 0.07	0.43 ± 0.08
Nbre d'animaux / Lipides neutres		23	29
Composition en acides gras des lipides neutres	C14	2.08 ± 0.41	2.16 ± 0.59
	C16	23.82_{ab} ± 0.84	23.87_{ab} ± 1.06
	C16 1 Δ	6.48_{a} ± 0.67	5.19_{c} ± 0.89
	C18	11.71_{b} ± 1.16	12.06_{ab} ± 1.20
	C18 1 Δ	49.80 ± 2.09	50.02 ± 1.67
	C18 2 Δ	6.03_{ab} ± 1.45	6.67_{a} ± 1.39
Degré d'insaturation de la fraction lipides neutres		68.34_{b}	68.55_{b}
Nbre d'animaux / Lipides polaires		11	14
Composition en acides gras des lipides polaires du long dorsal	C14	0.60 ± 0.25	traces
	C16 R	traces	traces
	C16	23.73 ± 1.86	26.61_{a} ± 2.94
	C16 1 Δ	3.50 ± 0.38	traces
	C18	7.97 ± 1.01	9.62 ± 1.81
	C18 1 Δ	22.75 ± 4.52	17.64 ± 2.82
	C18 2 Δ	31.65_{bc} ± 4.59	32.74_{b} ± 8.98
	C20	1.89 ± 1.08	
	C18 3 Δ	0.63 ± 0.17	traces
	C20	0.73_{c} ± 0.25	0.89_{a} ± 0.34
	C20 4 Δ	7.13_{bc} ± 2.09	8.43_{b} ± 2.60
Degré d'insaturation de la fraction lipides polaires (5)		119.96	116.84

Sur une même ligne, les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

La signification des renvois (1) (2) (3) (4) (5) est précisée Tableau 8.

TABLEAU 17

Comparaison de viandes de veaux provenant d'animaux Pie-Noires élevés sous la mère au lait naturel ou nourris au lait reconstitué

d'après TOURAILLE C., à publier

Mode d'allaitement	Lait naturel		Lait de remplacement
Muscle			
Long Dorsal	4.23	NS	4.26
Demi membraneux	4.85	**	4.40

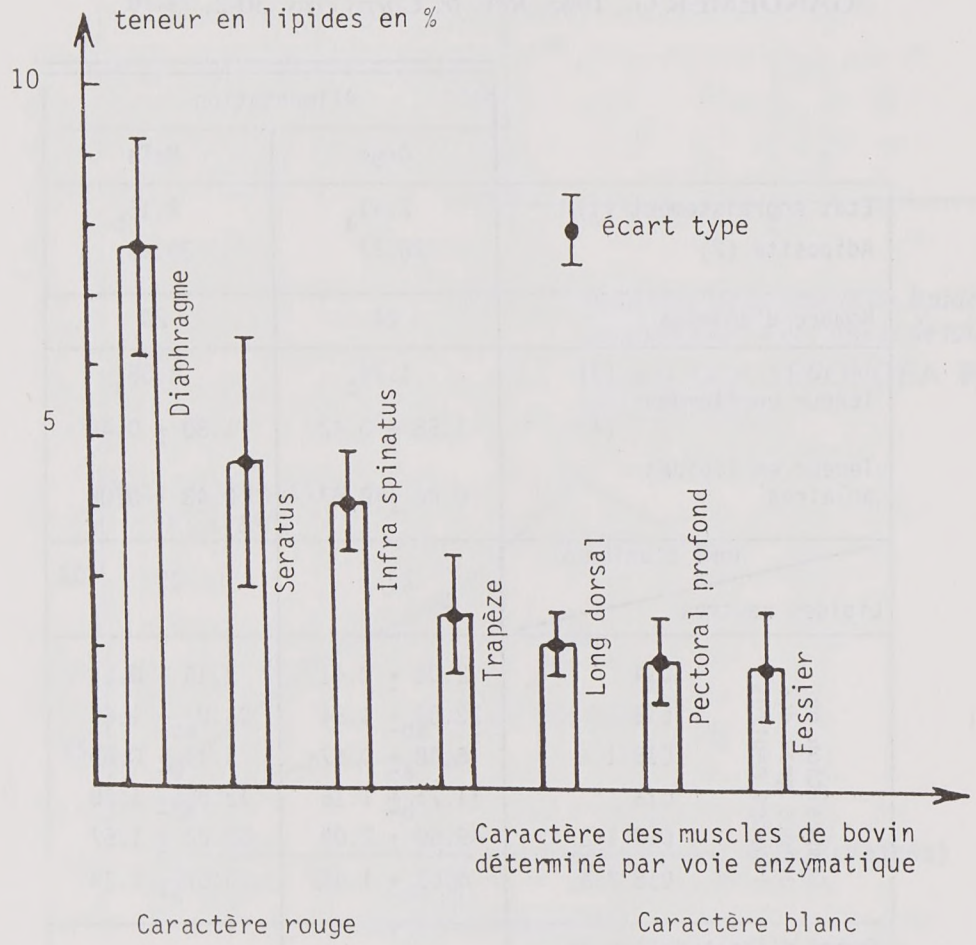


FIG. 4 : *Caractère des muscles de bovin et teneur en lipides*
d'après GIRARD J.P. et MONIN G., résultats à publier

II. Les facteurs *post mortem* influençant la flaveur de la viande

Les facteurs *ante mortem* qui affectent la flaveur de la viande sont à quelques exceptions près de nature quantitative, ils sont liés aux quantités de métabolites présents dans le muscle, lipides en particulier ; ceux qui interviennent *post mortem* sont plutôt de nature qualitative et à rapprocher des produits résultant de la dégradation des métabolites cités précédemment. Dans l'inventaire que nous allons dresser l'action aromatique des microorganismes ne sera que très peu prise en considération.

1. Evolution *post mortem* de la flaveur de la viande

Il convient de distinguer dans cette évolution plusieurs étapes dans la séquence des opérations qui conduisent de la carcasse au muscle puis à la viande : maturation, congélation éventuellement, mise en œuvre de technologies nouvelles. Elles diffèrent par les réactions mises en jeu. Cette évolution en fonction du temps *post mortem* est reproduite figure 5.

En cours de maturation et de congélation, la flaveur de la viande de bœuf à l'état pantelant ne possède pas sa flaveur spécifique, mais une odeur métallique et astringente, il est bien connu, sauf cas extrêmes, qu'au cours de la transformation du muscle en viande, la conservation à +4° C se traduit de façon bénéfique sur la flaveur de la viande (fig. 5bis). Cette conclusion est plus particulièrement applicable aux viandes bovines ; c'est en effet pour des raisons de tendreté que l'on soumet ces viandes à la maturation.

Au cours de cette période, le muscle va être progressivement dégradé, dans une suite de réactions complexes qui affectent de nombreux composants. La flaveur semble passer tout au long de ce processus par un optimum (fig. 5) variable suivant de nombreux facteurs. Certaines de ces dégradations sont bénéfiques sur cette qualité, d'autres par contre semblent jouer un rôle néfaste. L'effet des premières l'emporte sur celui des secondes en deçà de l'optimum de la figure 5.

2. Réactions favorables à la flaveur de la viande

a) Les nucléotides et leur produit de dégradation

Le muscle de l'animal vivant contient un polyphosphate organique l'A.T.P. ; *post mortem* l'A.T.P. se dégrade en A.D.P., A.M.P., I.M.P. (fig. 6). Les stades ultimes sont la formation d'inosine et d'hypoxanthine et de ribose libre qui apparaissent en cours de stockage prolongé. Le catabolisme s'accompagne d'une libération d'NH_3. Les nucléotides, en particulier l'I.M.P., sont considérés comme des constituants majeurs de la flaveur de la viande.

En cours de cuisson la teneur en nucléotides diminue de façon notable.

b) Les protéines

A côté de la dégradation des nucléotides, le second facteur déterminant de la flaveur de la viande est la dénaturation des protéines qui augmente leur sensibilité aux enzymes protéolytiques, en particulier aux cathepsines. Les produits résultant de leur dégradation (peptides, acides aminés) constituent également des agents majeurs dans le rôle de précurseurs de la flaveur.

c) Glycogénolyse

Les muscles convertissent *post mortem* leur stock de glycogène en acide lactique, cette réaction s'accompagne d'une chute de pH. La relation entre pH final du muscle et sa flaveur est discutée. Il semble pour de nombreux auteurs que cette qualité ne soit pas affectée directement par le pH du muscle, tout au moins dans le domaine de valeurs de pH le plus fréquemment rencontrées. Pour notre part, nous avons constaté que les graisses des animaux (porc) ayant subi des stress *ante mortem* présentaient parallèlement à des cinétiques anormales d'évolution du pH du muscle, des teneurs en acides gras libres supérieures à celles d'animaux normaux. L'adrénaline stimule l'adényl-cyclase et de ce fait augmente les concentrations en A.M.P. cyclique qui active la triglycérides lipase du tissu adipeux. De ce fait, la moindre conservabilité des tissus provenant de ces animaux peut s'expliquer.

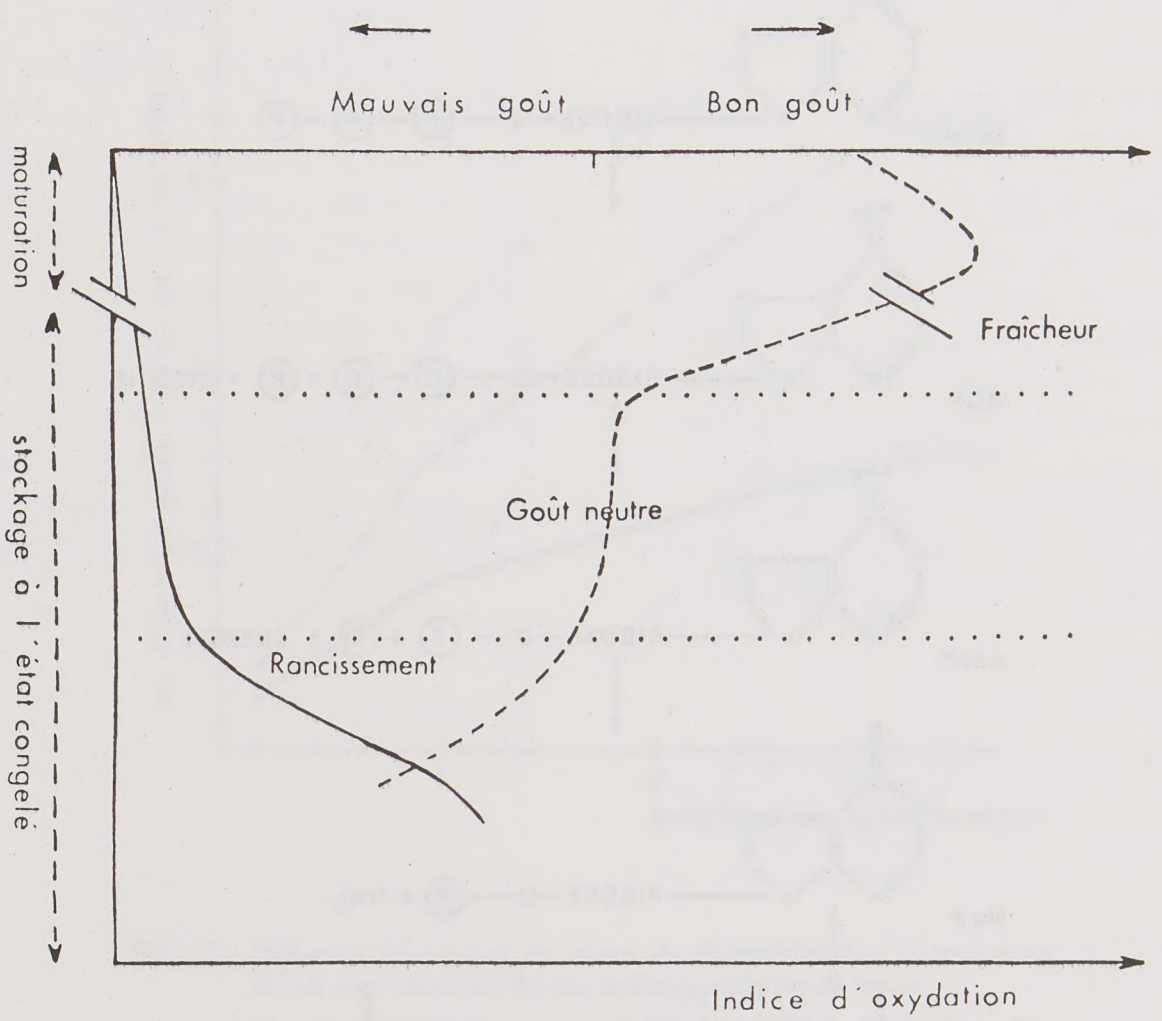


FIG. 5 : *Evolution de la flaveur de la viande en cours de maturation et de stockage à l'état congelé*
d'après GIRARD J.P., 1982 CNERNA, p. 99-104

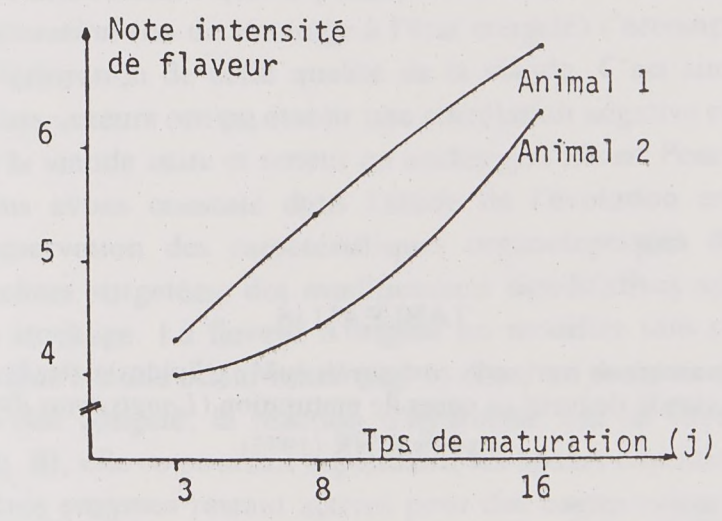


FIG. 5bis : *Evolution de la flaveur de la viande bovine, provenant du muscle* Longissimus dorsi, *en cours de maturation*
d'après TOURAILLE C. (à publier)

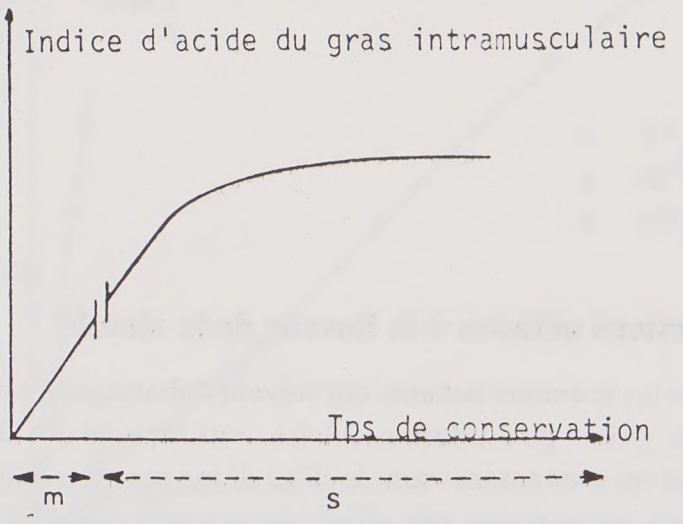


FIG. 5ter : *Cinétique de la lipolyse en cours de conservation de la viande*
d'après GIRARD J.P. (à publier)
m : maturation
s : en cours de stockage à l'état congelé

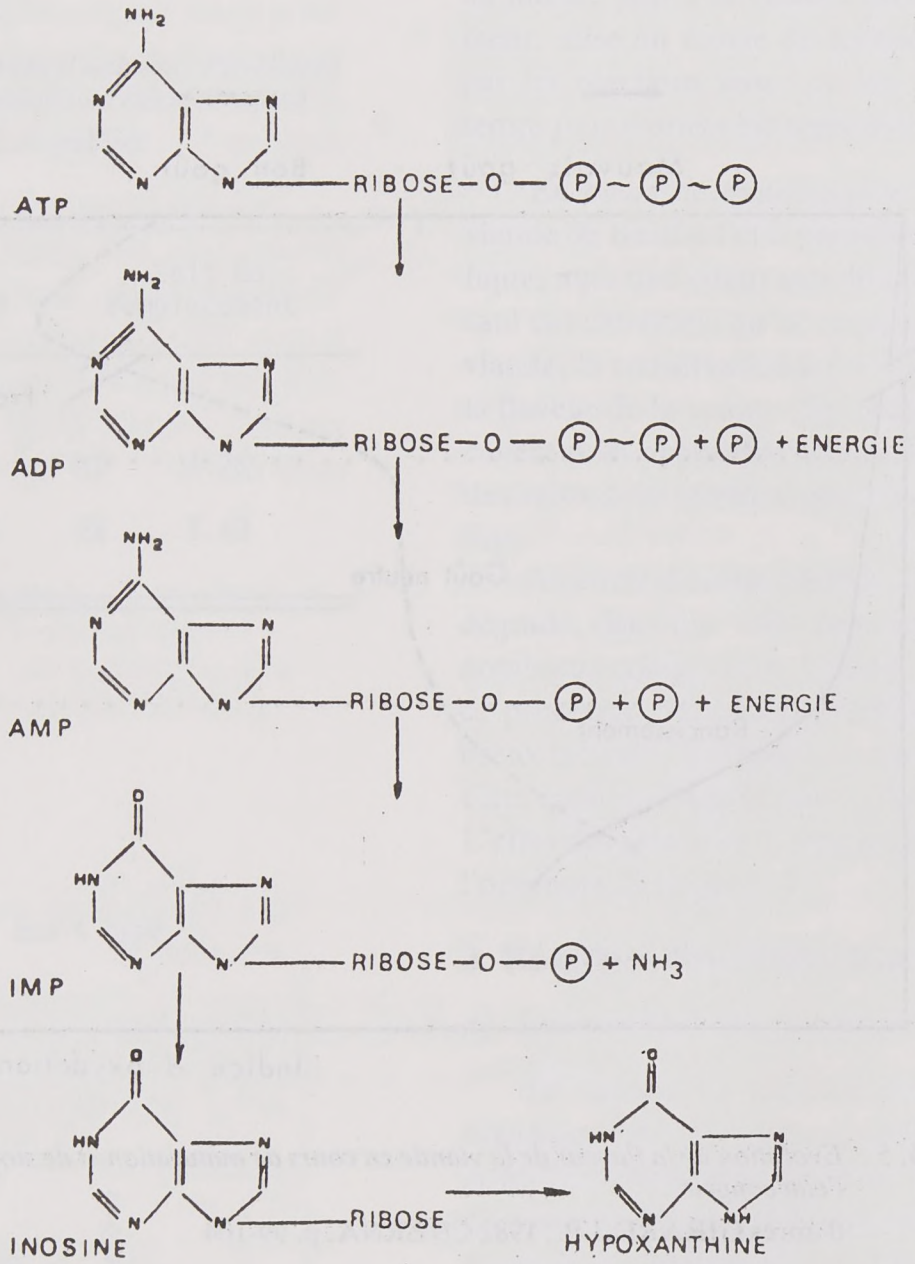


FIG. 6 : *Schéma de dégradation enzymatique de l'adénosine triphosphate (A.T.P.) dans le muscle* post mortem

A.D.P. : Adénosine diphosphate
A.M.P. : Adénosine monophosphate
I.M.P. : Inosine monophosphate
P. : Acide phosphorique

3. Réactions néfastes à la flaveur de la viande

Dès les premiers instants qui suivent l'abattage, les différents types de gras : gras intermusculaire, intramusculaire de dépôt, périrénal ou sous cutané, sont le siège d'une réaction d'hydrolyse. D'origine enzymatique, elle affecte les esters du glycérol, les acylglycérols ou glycérides plus particulièrement, et conduit à la formation d'acides gras libres. Elle s'effectue soit sous l'action de lipases endogènes, soit sous celle de lipases bactériennes, soit sous l'action simultanée de ces deux agents. Les quantités d'acides gras libres augmentent au cours de cette période de façon notable (3 à 4 fois, fig. 7).

Il est permis de penser que les acides gras présents dans le muscle après la mort et ceux libérés au cours de la réaction de lipolyse s'oxydent très facilement pour former des composés carbonylés (tabl. 18) responsables en grande part de la flaveur spécifique des viandes provenant d'espèces différentes.

TABLEAU 18

Quantités de composés carbonylés (µM / g lipides) extraits de la viande de bœuf en cours de maturation (*Longissimus dorsi*) d'après SINK (1973)

Composés carbonylés	Temps de maturation (jours)			
	0	3	8	14
Carbonylés totaux	6,50	11,02	11,61	17,94
Monocarbonylés	1,69	4,51	4,46	6,26
Alcadiénone	0,89	3,82	3,78	5,44
Alcanal	0,00	0,02	0,02	0,03
Alcadiénal	0,04	0,02	0,02	0,01

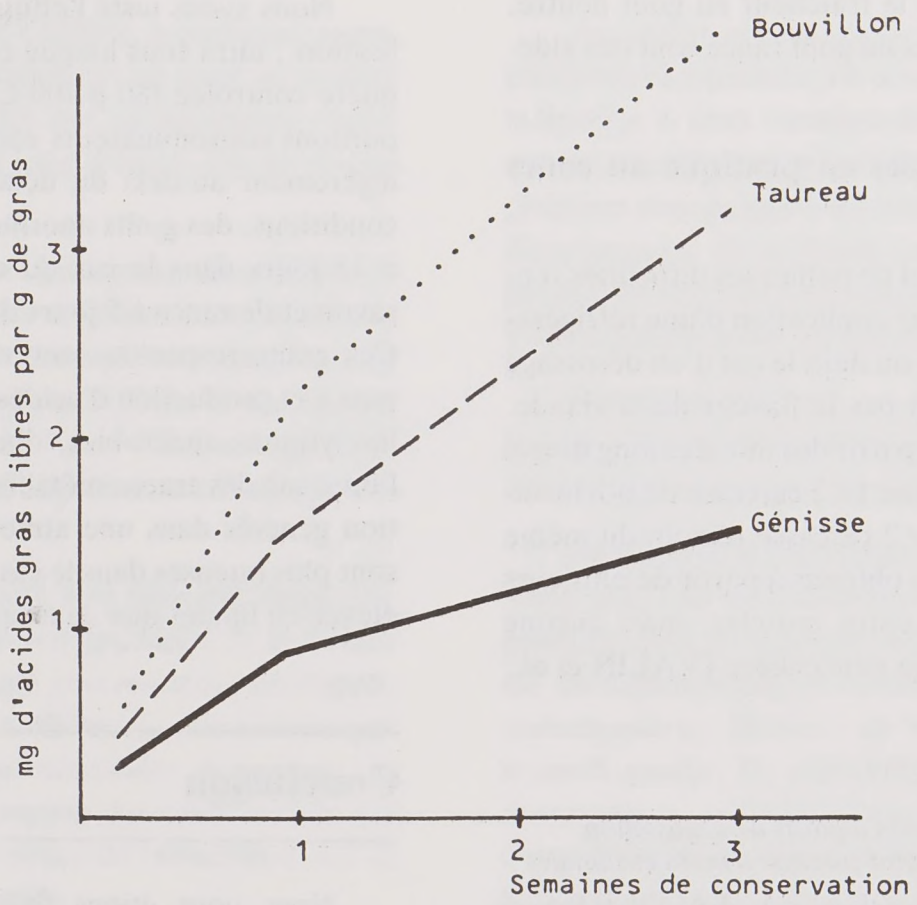


FIG. 7 : *Influence du sexe et du temps de maturation sur la teneur en acides gras libres des lipides intramusculaires de bovin*
d'après HOOD R.L. et ALLEN E., 1971 J. Food Sci., **36,** 786-790

Si un certain degré de lipolyse semble donc nécessaire pour le développement de la flaveur de la viande, les résultats de la littérature révèlent que la poursuite de cette réaction en cours de maturation (ou de stockage à l'état congelé) s'accompagne de la détérioration de cette qualité de la viande. C'est ainsi que plusieurs auteurs ont pu établir une corrélation négative entre arôme de la viande cuite et teneur en acides gras libres. Pour notre part nous avons constaté dans l'étude de l'évolution en cours de conservation des caractéristiques organoleptiques des viandes hachées surgelées, des modifications significatives après 6 mois de stockage. La flaveur d'origine est modifiée sans pour autant conduire à une odeur rance (fig. 5). Tout au cours de ce stockage à l'état congelé, la réaction d'hydrolyse voit sa vitesse réduite (fig. 8), elle se poursuit cependant, les lipases contrairement aux autres enzymes restant actives pour des basses valeurs de l'activité de l'eau. La cinétique de la réaction d'hydrolyse des lipides est dictée entre autres par la température d'entreposage (fig. 8).

Par la suite des réactions d'origine oxydative se superposent à la réaction d'hydrolyse ; ce deuxième stade entraîne des détériorations plus profondes des qualités organoleptiques des produits carnés dues d'abord à la fixation des composés d'oxydation sur les protéines puis à l'accumulation de ces composés, pouvant conduire à l'extrême à une odeur rance (fig. 5). Sur ce point, les facteurs à prendre en compte sont, en autres, les teneurs élevées en gras, l'insaturation élevée des gras constitutifs des viandes, les valeurs basses et élevées de l'activité de l'eau et bien entendu les conditions de stockage.

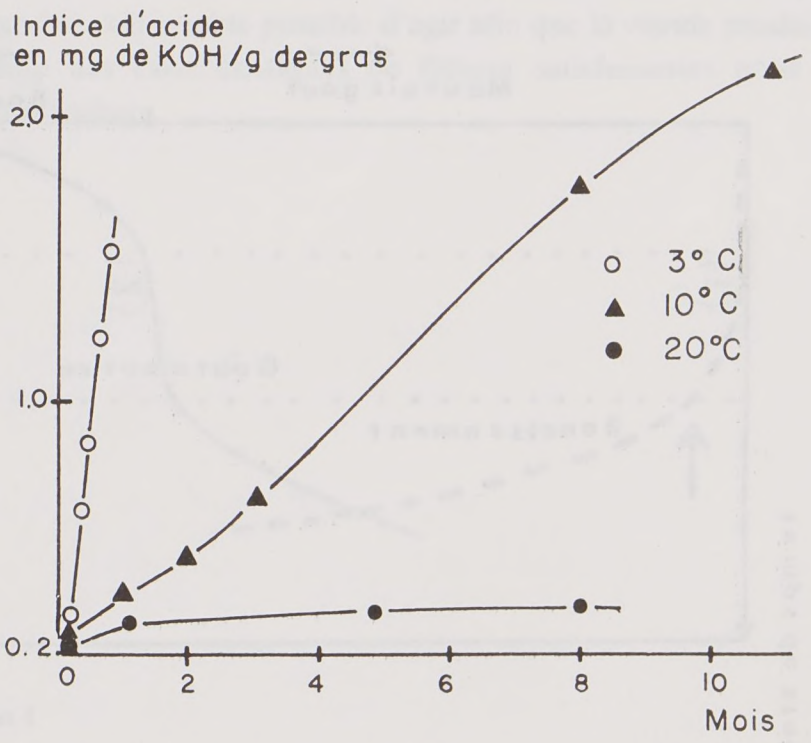


FIG. 8 : *Cinétique de la lipolyse du tissu adipeux de porc en cours de conservation à différentes températures*
d'après GIRARD J.P., 1983 Compte Rendu de fin d'études Contrat D.G.R.S.T. 78 7 0623 et 78 7 0624

Dans le cas des gras de dépôt, l'évolution de la courbe de la figure 5 se réduit à celle présentée figure 9. La flaveur agréable des corps gras après l'abattage, qui renforce l'appétabilité des produits carnés, fait place très progressivement à la flaveur rance. Comme dans le cas de la viande, les acides gras libres sont forte-

ment incriminés dans le passage de la fraîcheur au goût neutre, tandis que les composés responsables du goût rance sont des aldéhydes et des cétones.

4. Technologies récemment mises en pratique au cours de la première transformation

La stimulation électrique permet de pallier les difficultés rencontrées sur le plan de la tendreté par application d'une réfrigération précoce et rapide des carcasses, ou dans le cas d'un désossage à chaud. Ces techniques n'affectent pas la flaveur de la viande. Comme nous avons pu le montrer à partir des muscles long dorsal et demi-membraneux prélevés sur une 1/2 carcasse de bovin stimulée électriquement et sur une 1/2 carcasse témoin du même animal. Les résultats de dégustation obtenus à partir de plusieurs animaux révèlent des différences entre muscles, mais aucune relative à l'effet de cette technologie particulière (VALIN *et al.*, 1981) (tabl. 19).

TABLEAU 19

Notes d'intensité de flaveur obtenues à partir de dégustation de 2 muscles différents provenant de demi carcasse témoin et stimulée

d'après VALIN C., TOURAILLE C., OUALI A., LACOURT A., 1981, *Sci. Aliments* **1**, 467-476

Muscle	Témoin	Stimulé	Signification des différences
Long Dorsal	4,90	4,73	NS
Semi membranosus	4,83	4,58	NS

Nous avons testé l'effet des nouvelles formes de commercialisation : ultra frais longue conservation (sous vide), sous atmosphère contrôlée (80 p.100 CO_2, 20 p.100 CO_2) sur la flaveur de portions consommateurs constituées d'entrecôte et de faux filet, légèrement au-delà du délai limite de vente (j + 1). Dans ces conditions, des goûts anormaux ont pu être constatés, goût acide à 15 jours dans le cas du conditionnement sous vide, goût de savon et de rance à 5 jours dans le cas de l'atmosphère contrôlée. Ces goûts respectifs sont vraisemblablement imputables d'une part à la production d'acides gras libres par des microorganismes lipolytiques anaérobies, d'autre part à l'action des acides gras libres sur des traces métalliques et à celle des produits d'oxydation générés dans une atmosphère riche en oxygène. Les effets sont plus intenses dans le cas de l'entrecôte en raison de sa teneur élevée en lipides que dans le cas du faux filet.

Conclusion

Nous nous étions fixés pour but de rechercher à deux niveaux *ante* et *post mortem* à la vue des résultats de la littérature et de nos propres travaux, les facteurs plus particulièrement incriminables dans l'évolution de la flaveur des viandes.

Un des premiers constats que nous pouvons dresser est la difficulté qu'il y a à dégager des règles générales en raison de la multiplicité des facteurs à prendre en compte dans l'inventaire dressé. En particulier, il est souvent difficile de déterminer la cause exacte des variations observées : par exemple, l'âge et l'état d'engraissement sont souvent liés.

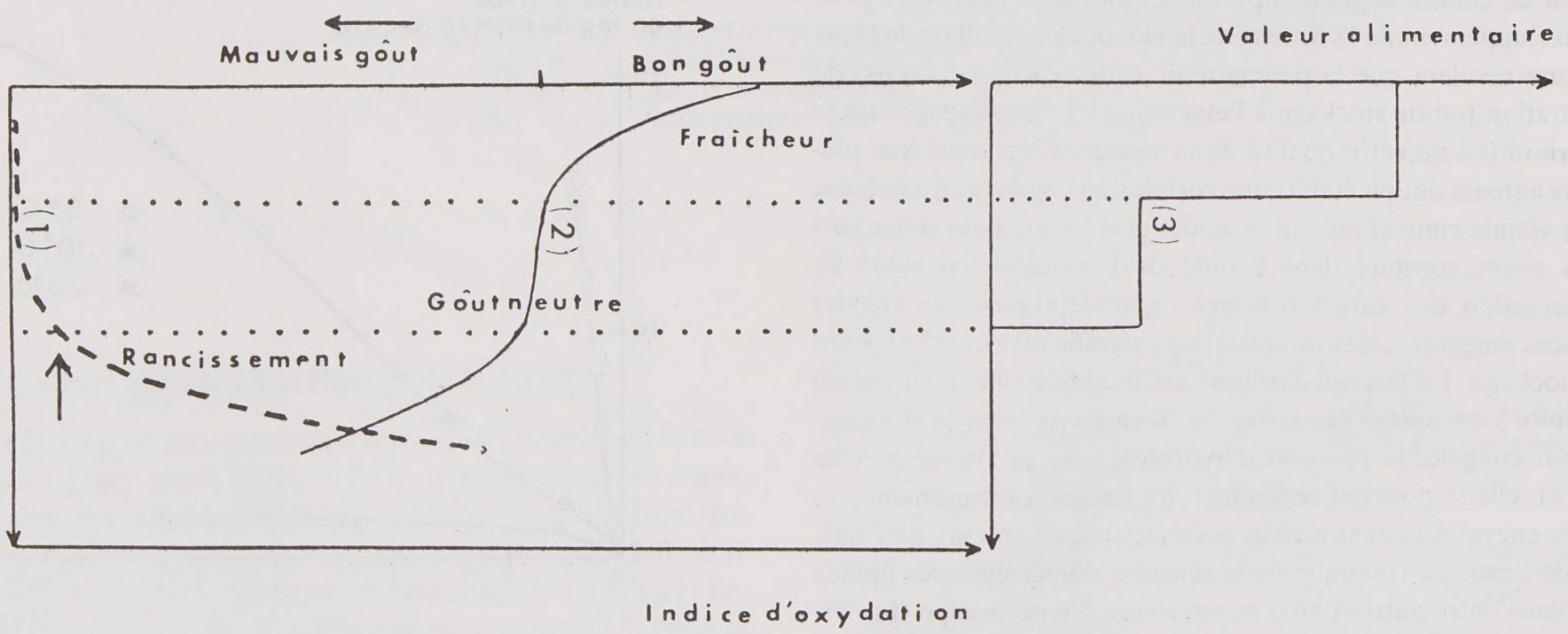


FIG. 9 : *Evolution de la flaveur et de la valeur alimentaire des gras animaux en cours de conservation*

courbe 1 : Variation d'un indice (la flèche indique l'apparition du goût rance)

courbe 2 : Courbe de flaveur : évolution du goût en fonction de l'auto-oxydation

courbe 3 : Valeur alimentaire correspondant aux trois périodes : fraicheur, goût neutre, rancissement

d'après LOURY M., LECHARTIER G., BLOCH C., 1966 *Rev. fr. Corps gras*, **6**, 395-406

Il ressort cependant que l'âge de l'animal, à quelques exceptions près, constitue un facteur essentiel car ce n'est qu'au-delà d'une certaine valeur de ce paramètre que se développe réellement la flaveur caractéristique ; l'âge joue ainsi un rôle de révélateur pour les autres facteurs.

On peut trouver là une des causes principales du manque de goût de certaines viandes, en effet les animaux sont abattus de plus en plus jeunes, ce qui a un effet bénéfique sur la tendreté de la viande mais un effet néfaste sur la flaveur. Dans le cas du poulet les producteurs d'animaux « labels » ont défini un âge minimum d'abattage (12 semaines) afin d'obtenir une viande présentant une flaveur satisfaisante.

Une deuxième conclusion qui peut être tirée des deux articles qui précèdent est que la cause de la dégradation de la flaveur se situe plus au niveau *ante mortem* que *post mortem ;* car l'application de techniques récentes dans la filière viande n'altère pas cette qualité. Toutefois, il s'avèrerait nécessaire de préciser au niveau des muscles stimulés électriquement, les modifications qui résultent du raccourcissement de la phase de maturation, sur le développement de la flaveur de la viande.

Les lipides constituent parmi les composants du muscle, les éléments essentiels dans le déterminisme de la flaveur. Nous avons montré précédemment que la flaveur ne se développe qu'au-delà d'une limite inférieure. A l'inverse, nous avons constaté sur des systèmes modèles, constitués de viande hachée, qu'un excès de lipides débordant une valeur comprise entre 10 et 15 p.100 est préjudiciable à la flaveur de la viande. La transposition de ce résultat à la viande en l'état peut s'opérer ; il convient cependant de signaler que dans ce cas, le consommateur peut percevoir les conséquences favorables de la présence de gras (composés formés en cours de cuisson), mais il peut s'affranchir de l'effet direct résultant de la présence de ce constituant par parage dans l'assiette avant consommation (cas de l'entrecôte, par exemple).

Au niveau *post mortem,* 2 types de composés sont plus particulièrement à prendre en considération : les produits résultant de la lipolyse et ceux résultant de l'oxydation. Une différence fondamentale réside cependant dans leurs seuils de perception. Les premiers sont perçus à des teneurs relativement élevées, fonction de la longueur de la chaîne carbonée de la molécule d'acides gras libres ; les seconds sont perçus à des seuils extrêmement faibles. Tous semblent jouer un rôle négatif au-delà d'une certaine limite.

Comment pourrait on espérer améliorer la flaveur de la viande ? Il est difficile d'imaginer d'augmenter l'âge des animaux à l'abattage en raison des coûts de production.

Cependant, il semblerait souhaitable de sélectionner des animaux qui, tout en présentant des vitesses de croissance élevées, posséderaient au moment de l'abattage et au niveau de leur muscle les caractéristiques nécessaires pour répondre aux goûts du consommateur. Réaliser un tel compromis semble possible dans le cas du poulet. De même, il semble souhaitable pour des raisons économiques de limiter l'état d'engraissement des carcasses tout en maintenant un dépôt de lipides suffisant au niveau du muscle. Sur ce point, nous menons des études sur le porc en collaboration avec nos collègues généticiens.

Le dernier facteur qui permettrait d'améliorer la flaveur serait de jouer au niveau du type métabolique des fibres musculaires.

Nous avons vu qu'à un type plus rouge correspond une viande légèrement plus grasse et présentant une flaveur plus intense. L'effet de la domestication des animaux a jusqu'ici plutôt favorisé l'évolution vers le type blanc, peut-être serait il possible de renverser cette tendance ?

L'évolution constatée ces dernières années n'est donc pas inéluctable et il semble possible d'agir afin que la viande produite présente des caractéristiques de flaveur satisfaisantes pour le consommateur.

Sommaire des publications des chercheurs du centre parues dans les annales de l'I.N.R.A.

(1er semestre 1984)

F. GATEL et Brigitte MICHALET-DOREAU : Influence du régime antérieur sur la quantité de fourrage ingérée par des moutons mâles castrés. *Ann. Zootech., 1984,* **33** (1), 119-122.

Pour étudier l'influence du régime antérieur sur la quantité de fourrage ingérée par des moutons, six béliers castrés ont d'abord reçu pendant cinq semaines des régimes correspondant à des niveaux alimentaires très différents (80 à 180 p. 100 des besoins d'entretien), puis un même foin distribué à volonté ; nous avons mesuré durant cette dernière période les quantités de foin ingérées ainsi que le poids vif et l'état d'engraissement des animaux. Nous n'avons pas observé d'influence du régime précédemment distribué sur les quantités de foin ingérées lors de la période de mesure.

J.P. DULPHY, P. ZWAENEPOEL, A. KOMAR et S. ABOULFARAJ : Valeur alimentaire des foins traités par l'ammoniac. *Ann. Zootech., 1984,* **33,** (2), 187-200.

Afin de mesurer, avec des foins de valeurs très différentes, l'effet du traitement à l'ammoniac, nous avons préparé 6 foins traités avec 30 à 40 kg d'ammoniac anhydre par tonne et nous avons comparé leur composition chimique, leur valeur alimentaire et les caractéristiques de leur digestion ruminale chez le mouton à celle des foins avant traitement.

Le traitement augmente fortement la teneur en MAT des foins, qui passe de 86 à 152 g/kg de MS (37 p. 100 de l'ammoniac ayant été fixé sur les foins). Ceci se traduit aussi par une augmentation des matières azotées non digestibles qui passent en moyenne de 44 à 67 g/kg de MS, ce qui signifie qu'apparemment seulement 64 p. 100 de l'ammoniac fixé a été utilisé par les animaux.

Par ailleurs, l'ingestibilité et la digestibilité des foins ont été augmentées nettement pour les foins de faible valeur alimentaire, mais non pour ceux qui avaient une valeur élevée.

Seul le comportement des animaux recevant un foin de valeur élevée avant traitement a été modifié par le traitement : baisse de la durée des grands repas et de la durée de rumination.

Le traitement a eu peu d'effet sur le pH du contenu du rumen, mais a fait passer en moyenne la teneur en NH_3 du jus de rumen de 40 à 170 mg/l. Il a aussi, et curieusement, fait baisser son activité cellulolytique.

Ces résultats sont discutés. La nécessité de mieux préciser le devenir de l'ammoniac fixé est souligné, ainsi que celle de préciser la signification de la baisse d'activité cellulolytique dans le rumen induite par le traitement.

Yseult VILLETTE et M. THERIEZ : Note sur l'évolution de la composition chimique du fœtus et du nouveau-né ovin de race Ile-de-France. *Ann. Zootech., 1984,* **33,** (1), 123-130.

Nous avons déterminé sur 15 fœtus *Ile-de-France* prélevés par césarienne entre 99 et 144 jours de gestation et sur 16 agneaux nouveau-nés de même race choisis de poids variable à la naissance les teneurs en eau, cendres, azote et énergie. Pendant la gestation la teneur en eau diminue tandis que celles en cendres, azote et énergie augmentent. En fin de gestation l'accrétion lipidique semble cependant ralentir. La composition chimique de l'agneau nouveau-né a été indépendante du poids à la naissance.

B. AUROUSSEAU, P. THIVEND et M. VERMOREL :Influence du remplacement d'une partie du suif d'un aliment d'allaitement par de la tricaproïne ou de la tricapryline en association à de l'huile de coprah sur la croissance du jeune veau préruminant. *Ann. Zootech., 1984,* **33** (2), 219-234.

72 veaux séparés en 3 lots ont été utilisés pour comparer l'efficacité d'utilisation pour la croissance de 3 laits de remplacement comportant 23,4 p. 100 de matières azotées et 21 p. 100 de lipides : un lait « témoin » où les matières grasses étaient apportées par du suif (lot 1) et 2 laits expérimentaux dans lesquels 2/3 du suif étaient remplacés en parties égales par de l'huile de coprah et par de la tricaproïne (lot 2) ou par de l'huile de coprah et par de la tricapryline (lot 3).

L'état sanitaire des veaux était médiocre et 5 d'entre eux sont morts pendant la première semaine d'essai portant à 21, 24 et 22 veaux les effectifs respectifs des 3 lots d'animaux. La fréquence des diarrhées ou de vitesses de croissance et d'efficacité alimentaire anormalement faibles ont été plus importantes dans le premier lot.

Les veaux des lots 2 et 3 ont présenté des vitesses de croissance (+ 40 p. 100) et une efficacité alimentaire (+ 26 p. 100) supérieures à celles observées chez les veaux du lot 1 au cours des 3 premières semaines d'expérience. L'accroissement de l'efficacité d'utilisation de l'énergie pour la croissance a été encore plus important : + 30 p. 100 après 3 semaines. Il demeure significatif après 5 semaines : + 17 p. 100 ($P < 0,05$).

Après élimination des données obtenues chez les veaux présentant des vitesses de croissance particulièrement lentes afin de supprimer les effets liés à l'état sanitaire des animaux, l'efficacité alimentaire demeure plus élevée (+ 14 p. 100, $P < 0,05$) chez les veaux des lots 2 et 3 lors des 3 premières semaines d'expérience. Les 2 types d'effets de l'ingestion d'acides gras à chaîne moyenne : amélioration de l'état sanitaire des veaux ou effet direct sur l'efficacité de fixation de tissus, sont discutés.

B. AUROUSSEAU : Effets combinés de l'apport d'acide caproïque et de la concentration en protéines sur l'utilisation de laits artificiels par l'agneau préruminant. II - Croissance et composition corporelle des agneaux. *Ann. Zootech., 1984,* **33** (2), 201-218.

Les effets de la nature des lipides (suif-coprah, « SC » ou suif-coprah-tricaproine, « SCT »), de la teneur en protéines (moyenne, « M », 24 p. 100 de la matière sèche, MS, ou haute « H », 31 p. 100 de MS) ou de la quantité de tricaproïne utilisée (4,5 ou 11,4 p. 100 de MS) sur la vitesse de croissance, l'efficacité d'utilisation des aliments, et la composition corporelle de l'agneau mâle préruminant ont été étudiés au cours de 4 essais. Les études de croissance et d'efficacité alimentaire ont été effectuées entre les âges de 3 et de 21 jours sur 56 agneaux Limousins (essais 1, 2 et 4) et sur 16 agneaux Ile-de-France (essai 3). Les études de la composition corporelle ont été effectuées sur 24 agneaux Limousins abattus à l'âge de 3 semaines (essai 2).

Chez les agneaux Limousins, le gain de poids vif journalier moyen passe de 206 g/j dans le cas des lots « SCM » à 263 g/j dans le cas des lots « SCT-H » ($P < 0,05$) ; il est intermédiaire dans le cas des lots « SCH » et « SCT-M ». Chez les agneaux Ile-de-France, il est également accru de 14 p. 100 (NS) dans le cas des agneaux Ile-de-France qui reçoivent les laits « SCT ». L'efficacité alimentaire n'est pas modifiée par l'augmentation de la teneur du lait en protéines, mais est significativement accrue ($P < 0,05$) chez les agneaux qui reçoivent de l'acide caproïque. Elle passe de 939 g de gain/g de MS ingérée et de 40,6 g gain/MJ d'énergie brute en moyenne dans le cas des groupes « SC » à 1 084 ou à 48,8 respectivement dans le cas des groupes « SCT ».

Les proportions pondérales du tractus digestif et de l'ensemble peau tête et pattes sont augmentées dans le cas des laits les plus riches en protéines, mais celles des autres tissus ne sont significativement modifiées ni par la nature des matières grasses ni par la

teneur en protéines des laits. Les coefficients d'allométrie du développement du cinquième quartier de la carcasse, des os, des muscles et des tissus adipeux (0,801 ; 1,275 ; 1,232 ; 1,144 et 1,452 respectivement) également indépendants des traitements expérimentaux, sont cependant supérieurs, dans le cas des os et des muscles, aux valeurs habituelles en raison, semble-t-il, de la supplémentation des laits en méthionine et en lysine.

La composition chimique du corps vide des agneaux ou des tissus déposés et en particulier leurs teneurs élevées en protéines (189 g/kg de poids vif vide ou 206 g/kg de gain, en moyenne) confirme les effets de la supplémentation en acides aminés sur l'accrétion de protéines. De plus, la présence d'acide caproïque dans les laits conduit à l'obtention de coefficients d'allométrie plus élevés pour la fixation d'eau dans le corps des agneaux et moins élevés pour la fixation de matière organique non protéique. En conséquence, la teneur en eau du corps des agneaux des lots « SCT » est accrue aux dépens de la teneur en matière organique non protéique.

Pascale DAUPRAT, G. MONIN, M. DALLE, P. DELOST : The effects of psychosomatic stress at the end of pregnancy on maternal and fetal plasma cortisol levels and liver glycogen in guinea-pigs. *Reprod. Nutr. Dév.*, 1984, **24** (1), 45-51.

Les taux plasmatiques de cortisol et les teneurs hépatiques en glycogène ont été mesurés chez le cobaye (mère, fœtus et nouveau-né) après un stress appliqué aux 60e et 67e jours de gestation (la parturition se produisant le 68e jour). Le stress consistait dans le maintien à l'obscurité pendant 3 h, avec déclenchement d'un éclair d'intensité 75 J toutes les 10 secondes. Par rapport aux témoins, le stress augmentait le cortisol plasmatique à la fois chez la mère et le fœtus. Tandis qu'il diminuait le taux de glycogène hépatique chez la mère le 60e jour, il augmentait ce taux chez le fœtus. La glycémie diminuait chez la mère après le stress, cependant qu'à la mise-bas les femelles précédemment soumises au stress le 60e jour manifestaient une hyperglycémie.

J.P. BARLET, J.P. RAVAULT : Calcitonin treatment and plasma prolactin levels in pregnant and lactating ewes. *Reprod. Nutr. Dév.*, 1984, **24** (1), 63-69.

L'injection intraveineuse d'une dose physiologique de calcitonine de saumon (0,5 µg/kg PV, en 20 min) à 5 brebis au 125e j de gestation induit une baisse légère mais significative de la calcémie sans modifier la prolactinémie de ces animaux.

Dix jours après la mise bas, une même dose de calcitonine, injectée dans des conditions analogues, n'a eu aucun effet significatif sur l'hyperprolactinémie induite par la tétée des agneaux chez ces brebis, bien qu'elle diminua significativement la calcémie de ces animaux.

Ces résultats démontrent que, chez la Brebis, des variations de courte durée de la calcitoninémie n'ont aucun effet sur la prolactinémie basale ni sur l'hyperprolactinémie induite par la tétée.

B. AUROUSSEAU, M. VERMOREL, J.C. BOUVIER : Influence du remplacement d'une partie du suif d'un aliment d'allaitement par de la tricapryline ou de l'huile de coprah sur l'utilisation de l'énergie et de l'azote par le veau préruminant. *Reprod. Nutr. Dév.*, 1984, **24** (3), 265-279.

Michèle BALAGE, J. GRIZARD : Glucagon kinetics in growing rats fed different levels of protein and/or energy. *Reprod. Nutr. Dév.*, 1984, **24** (3), 251-263.

Ce travail a été réalisé afin d'étudier les caractéristiques du métabolisme du glucagon chez des rats en croissance répartis en 3 groupes : T, H et E. Les animaux du groupe T (Témoins) reçoivent un régime témoin équilibré (11,8 % de matières azotées). Les animaux des groupes H et E reçoivent un régime riche en protéines (19 % de matières azotées) distribué soit en quantité équivalente à celle que reçoivent les animaux Témoins (groupe H) soit en quantité limitée (groupe E). Aussi le groupe H se caractérise par une nette augmentation des quantités de protéines ingérées (+ 68 %) alors que les animaux du groupe E sont soumis à une forte diminution de l'énergie ingérée (– 25 %). Dans tous les cas, l'aliment est distribué en 6 repas égaux régulièrement répartis au cours du nycthémère.

Les paramètres cinétiques du métabolisme du glucagon sont déterminés à la suite d'une injection unique de ^{125}I-glucagon (1 μCi, environ 3,8 ng/100 g de poids vif) par l'étude de l'évolution de la teneur plasmatique en ^{125}I-glucagon au cours des 5 min suivant l'injection. Le ^{125}I-glucagon plasmatique est mesuré après filtration des plasmas sur Biogel P-10. La distribution de la radioactivité dans plusieurs tissus (principalement le foie et les reins) est mesurée environ 7 min après l'injection de ^{125}I-glucagon.

Une minute après l'injection la teneur plasmatique en ^{125}I-glucagon est plus élevée chez les animaux du groupe H. Elle est identique dans tous les lots pour les autres temps (2-3,5 et 5 min après l'injection). Le ^{125}I-glucagon est rapidement prélevé et métabolisé par le foie et le rein. Dans chacun des 3 groupes d'animaux, la demi-vie et le taux de clairance métabolique du ^{125}I-glucagon sont estimés respectivement à 2 min et 6 ml/min/100 g poids vif. L'excès de protéines ingérées entraîne une réduction du volume de distribution initial apparent de l'hormone sans modification significative de son taux de renouvellement et de son taux de clairance métabolique. Les reins et le foie (6 % du poids vif) représentent environ 20 % du prélèvement tissulaire du glucagon 7 min après l'injection. La radioactivité retrouvée dans le foie et le rein est plus élevée chez les rats du groupe H que chez les rats des autres groupes.

L'augmentation de l'ingestion des protéines (sans diminution de l'énergie ingérée) entraîne certaines modifications du métabolisme du glucagon qui pourraient contribuer partiellement à l'augmentation de la glucagonémie habituellement observée chez les animaux recevant des régimes riches en protéines.

P. GUILLOTEAU, T. CORRING, R. TOULLEC, J. ROBELIN : Enzyme potentialities of the abomasum and pancreas of the calf. I - Effect of age in the preruminant. *Reprod. Nutr. Dév.*, 1984, **24** (3), 315-325.

Trois fœtus sont collectés dès l'abattage de leur mère (260 j de gestation) et trente-deux veaux sont maintenus au stade préruminant et abattus entre la naissance et l'âge de 147 j. La muqueuse de la caillette et le pancréas sont collectés et analysés.

La chymosine, la trypsine, la chymotrypsine, la lipase et la colipase sont déjà présentes en quantités importantes chez le fœtus, contrairement à la pepsine et à l'amylase. Après la naissance, la quantité de chymosine rapportée au poids vif de l'animal est maximum à 1,5 j et décroît ensuite ; celle de pepsine augmente jusqu'à 21 j puis ne change plus. L'évolution des activités enzymatiques du pancréas est généralement l'inverse de celle de la chymosine ; l'activité amylasique est particulièrement faible à la naissance.

Après la naissance, l'évolution des potentialités de sécrétion peut être scindée en 3 phases. Pendant la période d'ingestion du colostrum, les potentialités pancréatiques évoluent en sens inverse de celles de la caillette. De 1,5 à 21 j, la plupart des potentialités enzymatiques (sauf celles de la chymosine et de l'amylase) semblent être stimulées par le niveau des quantités ingérées. Après 21 j (ou 1,5 j pour la chymosine et l'amylase), l'évolution des potentialités enzymatiques doit être davantage influencée par l'âge de l'animal que par son niveau d'ingestion.

Reproduction, même partielle, interdite sans autorisation des auteurs
et de l'Institut national de la Recherche agronomique

Directeurs de la Publication : C. MALTERRE et A. HODEN

I.N.R.A. Publications - Route de St-Cyr - 78000 Versailles
Dépôt légal : 3ème trimestre 1985
N° C.P.P.A.P. : 573 ADEP